



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



Université Amar Telidji-Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : M^{elle} NOUREDDINE Ledda Hibat Errahman

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE(SNV)

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE

Thème

**Détermination matricielle de l'effet de
quelques paramètres technologiques sur la
qualité d'un lait fermenté de type yaourt
étuvé**

Jury	Grade	Qualité
Pr.ADAMOU ALA-EDDINE	Professeur	Président
Pr.HOUICHER ABDERRAHMAN	Professeur	Examineur
Pr. GOUDJAL YACINE	Professeur	Encadreur

Année universitaire 2020/2021



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة عمار ثليجي الاغواط

كلية العلوم

قسم علوم الفلاحة

مذكرة ماستر

تقديم الطالبة: نورالدين لدة هبة الرحمان

ميدان: علوم الطبيعية والحياة

الشعبة: علوم الغذاء

تخصص: صناعات التغذية ومراقبة النوعية

موضوع البحث

تحديد المصفوفة لتأثير بعض المتغيرات التكنولوجية على جودة الحليب المخمر من نوع الزبادي المبخر

اعضاء لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الدرجة العلمية	الصفة
عظامو علاءالدين	أستاذ التعليم العالي	رئيسا
هويشر عبدالرحمان	أستاذ التعليم العالي	ممتحنا
قوجال ياسين	أستاذ التعليم العالي	مؤطرا

السنة الدراسية 2021/2020

Dédicace

A ma maman

A mes chers grands parents

A mes très chères sœurs

A mes très chers frères

A toute ma famille

A mes chers amis

A tous ceux qui me sont chers

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou
de loin*

Je dédie ce modeste mémoire

HIBA

Remerciements

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la sante, la patience et les moyens afin que je puisse réaliser ce travail.

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier tout
Particulièrement*

*Notre promoteur **Mr. Pr GOUDJAL Yacine**, professeur au département des sciences agronomiques, université Amar Telidji – Laghouat, pour l'honneur qu'il nous a fait en nous encadrant, pour ses précieux conseils, orientations et la confiance placée en nous.*

*Nous remercions également **Mr. Pr ADAMOU AIA-EDDINE**, professeur au département des sciences agronomiques, université Amar Telidji - Laghouat, pour avoir accepté présider le jury notre soutenance.*

*Nous tenons à remercier vivement **Mr. Pr HOUICHAR ABDERRAHMAN**, professeur au département des sciences Agronomiques, université Amar Telidji - Laghouat, pour avoir accepté examiner notre travail et donner un jugement critique et judicieux sur ce dernier.*

*Un vif remerciement à **M_{me}. ALLALI KHADIDJA**, pour tout son aide et ses conseils et les informations scientifiques tout au long de la période d'étude : je lui offre tout le respect et la gratitude.*

A tous nos enseignants et toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Index des abréviations

FAO: Food and Agriculture Organization.

L.B : *Lactobacillus bulgaricus*.

S.T : *Streptococcus thermophilus*.

FL : Ferment lactique.

ANC : Apports nutritionnels conseillés.

CM : Caséine micelles.

VS : Void spaces (espaces vides).

EPS : Exopolysaccharides.

MEB : Microscopie électronique à balayage.

EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments.

PET : Polyéthylène téréphtalate .

Index des tableaux

	Page
Tableau 01 : valeur nutritionnelle de différents types de yaourts pour 100 g de produit.	16
Tableau 02 : Teneur en acides gras de différents types de yaourts pour 100 g de produit.	17
Tableau 03 : Apport en oglio-nutriments de 100 g de yaourt.	17
Tableau 04 : Apport en vitamines de 100 g de yaourt.	18
Tableau 05 : Facteurs utilisés pour l'optimisation de la production du yaourt.	27
Tableau 06 : Plan expérimental donné par la matrice statistique de PLACKETT-BURMAN.	27
Tableau 07 : Résultats du plan d'expérience de Plackett-Burman avec la réponse observée (production du yaourt).	40
Tableau08 : Degré de variables indépendantes à effet positif ou négatif sur la production du yaourt selon les niveaux du plan d'expérience de Plackett-Burman.	40

Index des figures

	Page
Figure 01. Publicité pour le yoghourt et kéfir Danone en 1919.	05
Figure 02. Observation au microscope électronique de l'espèce <i>St. thermophilus</i> .	09
Figure 03. Observation au microscope optique de l'espèce <i>Lactobacilles bulgaricus</i> .	10
Figure 04. Schéma illustrant les interactions de <i>Sreptococcus thermophilus</i> et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> en culture mixte dans le lait.	11
Figure 05. Diagramme de fabrication du yaourt.	15
Figure 06. Diagramme schématique montrant le mécanisme de dégradation de la structure du yaourt par cisaillement dans le cas de yaourts produits avec des souches non productrices d'exopolysaccharides .	20
Figure 07. Diagramme de fabrication du yaourt étuvé	30
Figure 08. Description du matériel de l'analyse sensorielle du yaourt étuvé	31
Figure 09. Fiche de dégustation pour l'appréciation de la qualité organoleptique du yaourt étuvé.	32
Figure10. Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation de la couleur des yaourts.	35
Figure 11. Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation de l'odeur des yaourts	36
Figure 12. Histogrammes présentant les résultats de l'appréciation du gout acide des yaourts.	36
Figure 13. Histogrammes présentant les résultats de l'appréciation du gout sucre des yaourts.	37
Figure 14. Histogrammes présentant les résultats de l'appréciation du gout des yaourts.	37
Figure 15. Histogrammes présentant les résultats de l'appréciation de la texture des yaourts.	38
Figure16. Diagramme de Pareto des effets standard de six facteurs sur la production du yaourt.	41

TABLE DES MATIERS

Dédicace	I
Remerciements	II
Liste des abréviations	III
Index des tableaux	IV
Index des figures	IIV
INTRODUCTION	02
PARTIE I :PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	
1. GENERALITES SUR LES YAOURTS	05
1.1.Historique	05
1.2. Définition	05
1.3. Composition	06
1.4. Classification des yaourts	07
1.4.1. Selon la texture	07
1.4.2. Selon la teneur en matières grasses	08
1.4.3. Selon le goût	08
2. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt	08
2 .1. <i>Streptococcus thermophilus</i>	08
2. 2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	09
2.3. Intérêt et des bactéries du yaourt	09
2.3.1. Production d'acide lactique	09
2.3.2. Activité protéolytique	10
2.3.3. Activité aromatique	10
2.3.4. Activité texturant	11
2.3.5. Comportement associatif des deux souches	11
3. Technologie du yaourt	12
3.1. Standardisation du mélange	12
3.2. L'homogénéisation	12
3.3. Traitement thermique	12
3.4. Ensemencement	13
3.5. Conditionnement	13
3.6. Fermentation et refroidissement	13
3.7. Stockage	14
4. Qualité du yaourt	14
4.1. Qualité nutritionnelle	14

4.1.1. Teneur en matière grasse	14
4.1.2. Teneur en vitamines	15
4.1.3. Teneur en minéraux	16
4.1.4. Effet du yaourt sur la santé	17
4.2. Qualité rhéologique	18
4.3. Qualité organoleptique	21
4.3.1. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques sur la qualité organoleptique	21
4.3.2. Analyse sensorielle des yaourts	23

PARTIE II : MATRIEL ET METHODES

1.1. Matériel	26
1.1.1. Matière première	26
1.1.2. Poudre de lait	26
1.2. Optimisation de la production du yaourt	26
1.2.1. Définition d'un plan d'expérience	26
1.2.2. Matrice d'expérience	27
1.3. Fabrication du yaourt	28
1.3.1. Préparation du lait	28
1.3.2. Première pasteurisation	28
1.3.3. La standardisation	28
1.3.3.1. Poudrage	28
1.3.3.2. Sucrage	28
1.3.5. L'homogénéisation	28
1.3.6. Second pasteurisation	28
1.3.7. Le refroidissement du lait	28
1.3.8. L'ensemencement	29
1.3.9. Aromatisation	29
1.3.10. Réchauffage	29
1.3.11. Conditionnement	29
1.3.12. L'étuvage	29
1.3.13. La réfrigération	29
1.4. Analyse sensorielle	29
1.4.1. Sujet	30
1.4.2. Entraînement des sujets	31
1.4.3. Déroulement de l'analyse	31
1.5. Analyses des données	32

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

1.1. L'appréciation de la qualité organoleptique	34
1.1.1. L'appréciation de la couleur	34
1.1.2. L'appréciation d'odeur	35
1.1.3. L'appréciation du goût	35
1.1.3.1. Acidité	35

1.1.3.2. Sucre	36
1.1.3.1. Gout	36
1.1.4. L'appréciation de la Texture	37
1.2. Résultats Etude des conditions optimales de la production du yaourt par le design de PLACKETT-BURMAN	38
Conclusion	42
Références bibliographiques	44
Annexes	50

Introduction

Les laits fermentés sont des dérivés laitiers transformés par une fermentation essentiellement lactique qui aboutit à l'acidification et à la gélification du lait. Ces produits ont rapidement gagné de l'intérêt du fait de leurs caractéristiques organoleptiques agréables (fraîcheur, acidité et onctuosité) (Tamime et Robinson, 1985). Le yaourt est l'un de ces produits, en plus de son importance nutritionnelle qui a été identifiée pendant longtemps en tant que nourriture saine due à l'action bénéfique de ses deux bactéries vivantes *Lactobacillus delbrueckii sub sp. bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Ces dernières concurrencent les bactéries pathogènes aussi bien dans l'aliment que dans l'environnement digestif (Tamime et Robinson, 2007).

Avec les progrès technologiques réalisés, le yaourt apparaît comme un produit laitier très digestible qui possède une grande valeur nutritionnelle et qui est apprécié pour son goût et sa texture (Boubchir et Ladj, 2011). C'est un produit consommé depuis la haute antiquité dans la plupart des pays du monde. Sa consommation est très variable d'une région à l'autre. Elle est beaucoup développée dans les pays à climat tempéré ou la production laitière est abondante, tandis que dans les pays en voie de développement, le lait et ses dérivés n'entrent que très peu dans la ration alimentaire (Sandra et al., 2001).

En Algérie, d'après une étude faite par "Danone" Djurdjura, la consommation moyenne de l'Algérien en yaourt oscille entre 5 et 6 kg/an. Cette consommation augmente chaque année et selon ces statistiques, l'industrie laitière Algérienne se distingue par un marché à potentiel de croissance élevé (Meghachou, 2014). La demande sans cesse grandissante en lait et produits dérivés (yaourt, fromages, beurre, glaces...) se justifie par la forte démographie, l'urbanisation et l'amélioration du pouvoir d'achat de la population (Boubchir et Ladj, 2011).

Bien que la fabrication et la consommation des laits fermentés remonte depuis longtemps, les progrès réalisés dans l'élaboration, la standardisation et la diversification des yaourts correspondant pour la plupart aux efforts de recherche entrepris au cours du siècle dernier, a pour objet de répondre aux besoins des consommateurs et de l'industrie (Boubchir et Ladj, 2011).

Pour qu'un produit laitier quel qu'il soit puisse remplir ses multiples fonctions, il faut, outre une qualité organoleptique, une excellente qualité microbiologique et physico-chimique. Sans ces conditions, son utilisation peut constituer une menace sérieuse pour la santé humaine (Kiemptore, 2013).

Donc, dans ce contexte, notre étude a pour objectif la détermination matricielle de l'effet de quelques paramètres technologiques (sucre, arôme, colorant, ferment lactique, origine du lait et la concentration) sur la qualité d'un lait fermenté du type yaourt étuvé, visant de façon spécifique les points suivants :

- Appréciation de la qualité organoleptique des 12 yaourts étuvés par les analyses sensorielles afin de détecter les changements de la qualité organoleptique causés par les différentes méthodes de fabrication.
- Etude de l'optimisation de la production du yaourt étuvé, utilisant le design expérimental par la matrice statistique de PLACKETT-BURMAN de 6 facteurs.

Notre travail sera présenté comme suite :

-La première partie est une synthèse bibliographique concernant le thème abordé.

-La deuxième partie est consacrée à la présentation du matériel et méthodes utilisés.

-La troisième partie discute des résultats obtenus. Le tout sera couronné par une conclusion qui fera ressortir l'essentiel des résultats de notre travail, les recommandations et les perspectives.

Partie bibliographique

1. Généralités sur les yaourts

1.1. Historique

Le yaourt n'est pas Bulgare mais Turc. On trouve l'origine du terme yaourt "Yogurmak" 1798 qui signifie "épaissir le lait" au centre de l'Eurasie, au 11ème siècle. Il apparaît en France vers 1542, offert par Soliman le magnifique à François 1er qui souffrait de troubles intestinaux. Le roi fut guéri mais le médecin du sultan garda sa recette secrète. Il fallut attendre plus de 400 ans et la découverte des microorganismes à l'origine des fermentations par Pasteur, pour que le yaourt fasse son retour en France en 1919 (première guerre mondiale). Sa fabrication industrielle, a débuté dans les années 1930.



Figure 01. Publicité pour le yoghourt et kéfir Danone en 1919.

Les mots "yaourt" et "yogourt" sont entrés dans "Le Petit Larousse" en 1925.

1.2. Définition

La réglementation française précise : "La dénomination yaourt ou yoghourt est réservé au lait fermenté obtenu, selon les usages loyaux et constants, par le développement des seules bactéries lactiques, *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, qui doivent êtreensemencées simultanément et se trouvent vivantes dans le produit à raison d'au moins 10^7 bactéries/g, la quantité d'acide lactique libre ne doit pas être inférieure à 0,7g/100g lors de la vente au consommateur" (article 8 du décret 63-695).

Le yaourt est un lait fermenté obtenu exclusivement par la coagulation du lait sous l'action de deux bactéries : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*

(Michaylova et *al.*, 2007; De Vuyst et Tsakalidou, 2008; Delorme, 2008; Iyeret et *al.*, 2009; Quiberoni et *al.*, 2010).

Tous les produits contenant des ferments autres que ceux cités ci-dessus ne peuvent se voir attribuer le nom de yaourt mais celui de lait fermenté, ce qui est le cas de la plupart des nouveaux produits dits "produits santé". Le yaourt est fait en introduisant des souches bactériennes spécifiques dans le lait, qui est plus tard fermenté dans des températures contrôlées (42-43C°) et des conditions environnementales (dans la cuve de fermentation), particulièrement dans la production industrielle. Les bactéries dégradent les sucres naturels du lait et libèrent l'acide lactique comme produit. L'acidité accrue fait coaguler les protéines du lait dans une masse pleine (lait caillé) dans un processus appelé dénaturation (Robinson et Tamime, 1986). L'acidité accrue (pH = 4-5) empêche la prolifération des bactéries potentiellement pathogènes (Yildiz, 2010).

1.3 Composition

La principale matière première pour la fabrication des yaourts est le lait dont, pour l'essentiel, le lait de vache. Il est constitué d'environ 88% d'eau et de 12% de matière sèche totale contenant des glucides, des protéines, des lipides et des minéraux (Tamine et Robinson, 1999).

La fermentation du lait va entraîner des modifications de sa composition, énumérées ci-dessous :

- **Glucides**

La fermentation du lait conduit principalement à la baisse de la teneur en lactose de 20 à 30% après être de l'ordre de 4,5g pour 100g. Pour cela, la dégradation du lactose sous l'action de β -galactosidase ou lactase conduit à la formation de glucose, galactose et de l'acide lactique qui est assuré par les bactéries lactique (Syndifrais, 2002).

- **Protéines**

Les bactéries lactiques produisent des enzymes qui hydrolysent partiellement les protéines du lait. De plus, leur équilibre en acides aminés est excellent, ce qui leur confère une bonne valeur biologique (Syndifrais, 2002).

- **Lipides**

Il existe une hydrolyse très modérée des triglycérides qui n'a pas d'incidence nutritionnelle observable (Alm, 1982; Boccignone et *al.*, 1984).

- **Minéraux**

C'est surtout la richesse en calcium du yaourt et du lait fermentés qui est essentielle. La poudre de lait ajoutée lors de la fabrication du yaourt augmente en effet la teneur en calcium essentiellement par rapport au lait d'origine. Un pot de yaourt de 125 g apporte 180 à 200 mg de calcium (Syndifrais, 2002).

- **Vitamines**

La composition des vitamines du yaourt dépend principalement de celle du lait utilisé. De plus, elle sera modulée au cours de la fermentation par les bactéries lactiques. La composition en vitamines varie en fonction de leur teneur dans le lait utilisé (entier ou partiellement écimé) par contre les vitamines du groupe B présentent en quantités intéressantes proviennent du lait utilisé (Daniel, 2002).

- **Autres aspects**

La masse des bactéries représente 1g pour 125g de yaourt ou de lait fermenté. (Megalla et Hafez, 1984).

1.4. Classification des yaourts

Il existe sur le marché mondial une très grande diversité de yaourts qui sont classés selon la texture, la teneur en matières grasses et le goût (Keiptore, 2013).

1.4.1. Selon la texture

-Yaourts fermes : ce sont les yaourts coagulés en pots. Selon Veisseyre (1997) généralement des yaourts naturels ou aromatisés, dont la fermentation s'opère après la mise en pot à une température comprise entre 42 et 44°C dans le cas des yaourts sucrés, aromatisés, aux fruits, à la confiture... etc. L'apport des additifs est effectué avant ou après le remplissage des pots (Keddar et Koubich, 2009).

-Yaourts brassés : ce sont les yaourts coagulés en cuve et brassés avant la mise en pot (Chanden, 2006).

-Yaourts à boire : leur texture est plus ou moins liquide (Luquet et Carrieu, 2005).

1.4.2 Selon la teneur en matières grasses

-**Yaourts maigres** : les yaourts renferment des teneurs en matières grasses inférieures à 1% (Bullard, 2011).

-**Yaourts ordinaires nature** : les yaourts renferment des teneurs en matières grasses de 1% minimum (Bullard, 2011).

-**Yaourts entiers** : les yaourts renferment des teneurs en matières grasses de 3,5 % (en pratique de 3 à 4,5%) (Bullard, 2011).

1.4.3. Selon le goût

-**Yaourts sucrés** : ils sont additionnés de saccharose à des taux variables (Fredot, 2005).

-**Yaourts aux fruits, au miel, à la confiture** : ils subissent une addition inférieure à 30% de ces différents produits (Fredot, 2005).

-**Yaourts aromatisés** : les produits contiennent des arômes naturels renforcés par un produit de synthèse (Paci Kora, 2004).

Cette très grande diversité des produits a pour but de répondre aux attentes des consommateurs.

2. Caractéristiques générales des bactéries du yaourt

2.1. *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus thermophilus est l'une des bactéries lactiques thermophiles, largement employé en tant que levain dans la fabrication de certains produits laitiers fermentés tel que le yaourt (en culture mixe avec *Lactobacillus bulgaricus*) et les fromages à pâte cuite (en culture mixe avec *Lactobacillus helveticus*), elle est connue par une forte production d'arôme tel que l'acétaldéhyde, et par sa capacité de produire de l'acide folique et des exopolysaccharides, *Streptococcus thermophilus* est la seule espèce non pathogène du genre *Streptococcus* (Hols et al., 2005 ; Delorme, 2008).

Streptococcus thermophilus est une bactérie à Gram positif, anaérobie facultatif, immobile (Roussl et al., 1994). C'est une bactérie dépourvue d'antigène du groupe D, thermorésistante, sensible au bleu de méthylène (0,1%) et aux antibiotiques (Lamoureux, 2000).

Le rôle principal de *Streptococcus thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique. En plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de texture dans les laits fermentés. Elle augmente la viscosité du lait par production de polysaccharides (composés

de galactose, glucose, ainsi que de petites quantités de rhamnose, arabinose et de mannose) (Affer, 2013). La figure 02 présente l'aspect microscopique des cellules *S. thermophilus*.

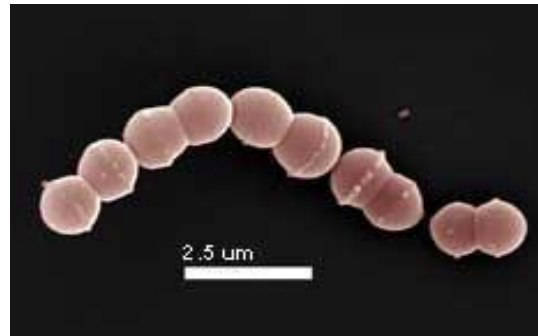


Figure 02. Observation au microscope électronique de l'espèce *S. thermophilus*.

2. 2. *Lactobacillus bulgaricus*

L. Bulgaricus est un bacille Gram positif, immobile, aspérule, micro aérophile. Elle est isolée sous forme de bâtonnets ou de chainettes. Elle possède un métabolisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique comme principal produit final à partir des hexoses de sucres par voie d'Emden Meyerhof. Elle est incapable de fermenter les pentoses (Guiraud, 2003).

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

Ces bactéries lactiques tolèrent de petites quantités d'oxygène. Ceci peut être probablement relié au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) qui est produit dans les cellules en présence d'air. Le système le plus efficace pour éliminer le peroxyde d'hydrogène est l'utilisation d'une enzyme, la catalase, dont les bactéries lactiques sont déficientes. Ces dernières possèdent plutôt une peroxydase (pseudo catalase) qui est moins efficace que la catalase. Comme les bactéries lactiques n'éliminent pas facilement le peroxyde, elles sont dites micro aérophiles (Doleyres, 2003). La figure 03 présente l'aspect microscopique des cellules de *L. Bulgaricus*.



Figure 03. Observation au microscope optique de l'espèce *Lactobacilles bulgaricus*.

2.3. Intérêt et des bactéries du yaourt

2.3.1. Production de l'acide lactique

La production d'acide lactique est une des principales fonctions des bactéries lactiques en technologie laitière. Cet acide organique permet de concentrer et de conserver la matière sèche du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien (Schmidt et *al.*, 1994). Le métabolisme est du type homofermentaire (production exclusif de l'acide lactique). L'acidité du yaourt est communément exprimée en degré Dornic ($1^{\circ}\text{D} = 0,1\text{g/l}$ d'acide lactique). Elle se situe entre 100 et 130 °D (Beal et Sodini, 2003).

L'importance de l'acide lactique durant la fabrication du yaourt peut se résumer comme suit :

- il aide à déstabiliser les micelles de caséines, ce qui conduit a la formation du gel ;
- il donne au yaourt son gout distinct et caractéristique, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt (Singh et *al.*, 2006) ;
- intervient comme inhibiteur vis-à-vis des microorganismes indésirables (Leory et *al.*, 2002).

2.3.2. Activité protéolytique

Les bactéries lactiques sont dotées de protéolytique complexe par leur nature et leur location, car pour satisfaire leurs besoins en acides aminés, elles doivent dégrader les protéines. Elles possèdent des endopeptidases liées aux parois qui peuvent parfois être de type acide ou neutre, des exopeptidases également associées aux enveloppes cellulaires. Le niveau de ces activités protéolytiques peut varier en fonction d'un certain nombre de facteurs physico-chimiques ou génétiques (Annika et Marc, 2004).

La température de croissance et le pH du milieu sont également des facteurs qui peuvent affecter le niveau de production d'enzymes (Ghalem, 2014)

2.3.3. Activité aromatique

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. C'est principalement le lactose qui intervient dans la formation de ces composés dans une fermentation de type hétérofermentaires, Parmi ceux-ci, l'acide lactique confère au yaourt son goût acidulé (Affer, 2013).

2.3.4. Activité texturante

La texture et l'onctuosité constituent, pour le consommateur, d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent, à partir du glucose, des polysaccharides qui, en formant des filaments, limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques et contribuent à la viscosité du yaourt (Ruas-Madiedo *et al.*, 2001).

L'augmentation de la viscosité du yaourt est en général attribuée à la production d'exopolysaccharide (EPS) qui, selon une étude portant sur plusieurs souches serait essentiellement composée de rhamnose, arabinose, et mannose (Schmidt *et al.*, 1994).

Il est couramment admis que la production des EPS est le résultat de l'action exercée par *S. thermophilus*. Mais d'après Tamime (1999), *L. bulgaricus* possède une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose, rhamnose à des rapports de 4/1/1 (Ghalem, 2014).

2.3.5. Comportement associatif des deux souches

S. thermophilus et *L. bulgaricus* se développent en association (appelée proto-coopération) dans des cultures mixtes ayant un intérêt à la fois d'ordre technologique et nutritionnel, ces bactéries, par leur activité acidifiante, ont un effet bénéfique du point de vue qualité hygiénique du produit, en parallèle, elles engendrent des produits secondaires qui contribuent à la qualité organoleptique du yaourt, d'un point de vue nutritionnel, l'activité fermentaire de ces espèces lactiques favorise une solubilisation des différents constituants du lait, améliorant ainsi leur biodisponibilité (Courtin *et al.*, 2002 ; Ngounou *et al.*, 2003).

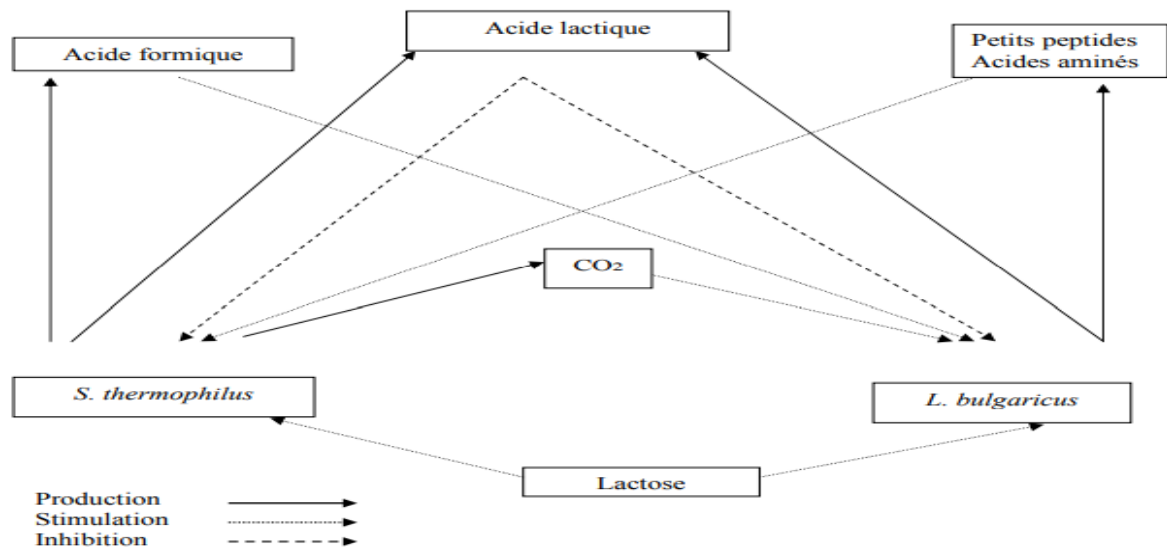


Figure 04. Schéma illustrant les interactions de *Sreptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* en culture mixte dans le lait (Mahaut et al., 2000).

3. Technologie du yaourt

La fabrication du yaourt, même si elle est connue depuis des temps très lointains, demeure un procédé assez complexe et en perpétuelle évolution car, il intègre à chaque fois les connaissances et les progrès réalisés dans des domaines variés tels : la biologie moléculaire et cellulaire, la chimie, la biophysique...etc.

Les étapes de fabrication (figure 5) peuvent différer selon qu'on a affaire à un yaourt « étuvé » dont la fermentation se fait après conditionnement en pots et le yaourt « brasse », dont la fermentation se fait en cuve. Le coagulum obtenu dans ce dernier cas est dilacéré et brasse pour être rendu plus ou moins visqueux, puis conditionne en pots (Béal et Sodini, 2003).

Globalement, nous distinguons dans le processus d'élaboration les étapes énumérées ci-dessous.

3.1. Standardisation du mélange

La matière première utilisée (lait frais, lait recombine, mélange des deux) doit être de bonne qualité microbiologique, exempte d'antibiotiques ou autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisée (Lamontagne, 2002).

La teneur en matière grasse du yaourt est variable. Elle est ajustée de sorte que le produit entre dans l'une des catégories ci-après :

- Yaourt entier : au minimum 3 % (en poids) de matière grasse ;

- Yaourt partiellement écrémé : moins de 3 % de matière grasse ;
- Yaourt écrémé : au maximum 0,5% de matière grasse.

3.2 L'homogénéisation

Ce traitement est pratiqué dans le cas des laits gras (10 à 25.106 Pa à 60-90°C), soit en phase montante de la pasteurisation, soit en phase descendante mais avec des risques de contamination dans ce cas (Jeantet, 2008).

L'homogénéisation du lait à plusieurs objectifs : elle améliore la fermeté des gels obtenues après fermentation, augmente leur capacité de rétention d'eau et réduit la synérèse, par ailleurs elle prévient le crémage au cours des opérations « statiques » de la fabrication du yaourt, en particulier lors de la période d'incubation en pots ou dans les cuves de fermentation, cela est due au fractionnement de la taille des globules gras de 4-5 μm à 1 μm par cisaillement (Schorsch, 2001 ; Amiot, 2002). En plus de conférer une couleur plus blanchâtre au mélange laitier, cette diminution de diamètre facilite l'insertion des globules gras dans les pores du réseau caséique du yaourt. Cette étape permet également de mélanger de façon homogène les divers ingrédients laitiers ajoutés lors de l'étape de la standardisation (Luquet et Corrieu, 2005). Une autre des conséquences de l'homogénéisation est la formation de nouvelles gouttelettes de globules de gras entourées par des caséines et des protéines sériques. La résultante est une augmentation du caractère hydrophile des globules de gras (Schorsch, 2001).

3.3 Traitement thermique

Le lait est soumis à un traitement thermique qui peut être réalisé avec une durée variable et à une température située au-dessus de la température de dénaturation des protéines sériques. Les effets recherchés sont surtout l'élimination des microorganismes pathogènes et de la plus grande partie de la flore banale, ainsi que la dénaturation thermique d'une part importante des protéines du lactosérum et leur agrégation entre-elles ou sur les micelles de caséines (Sfakianakis et Tzia, 2014).

Les agents pathogènes qui peuvent se développer dans le lait, en raison de mauvaises pratiques d'hygiène ou de défaillance matérielle au cours des étapes préalables de traitement peuvent facilement être tués par un traitement thermique léger, garantissant que le lait est sans danger pour la consommation. La plupart des agents pathogènes résistants à la chaleur ne se retrouvent pas dans le lait ou sont moins nombreux que d'autres microorganismes endogènes ou encore sont détériorés avant que leur quantité soit suffisante pour causer des problèmes de santé pour le consommateur (Sfakianakis et Tzia, 2014).

3.4. Ensemencement

L'ensemencement d'une culture de *Lactobacillus bulgaricus* et de *Streptococcus thermophilus* doit se faire à un taux assez élevé pour assurer une acidification correcte : il varie selon la vitalité des cultures entre 1 et 7%, et selon le rapport *Streptococcus thermophilus* /*Lactobacilles bulgaricus* de 1,2 à 2 pour les yaourts naturels (Mahaut et al, 2005). En réalité, chaque fabricant travaille dans des conditions qui lui sont propres, en privilégiant plutôt l'impact de chaque association sur les caractéristiques finales du produit (Beal et Sodini, 2003), ces ferments sont commercialisés sous forme congelée (stockage à $T^{\circ} < -40^{\circ}\text{C}$) ou lyophilisée (stockage à $T^{\circ} < 4^{\circ}\text{C}$) (Luquet et Corrieu, 2005).

3.5. Conditionnement

Deux types d'emballage sont utilisés : les pots en verres et les pots en plastique (thermoformage). L'ajout du sucre et des arômes se fait suite à l'ensemencement pour les yaourts fermes alors que l'addition des fruits se fait juste après le refroidissement pour les yaourts brassés (Mahaut et al., 2000).

3.6. Fermentation et refroidissement

Durant cette étape, on assiste au développement de l'acidité du yaourt. Celle-ci est sous la dépendance de la température et la durée de fermentation des germes ensemencés. Ainsi, il est préférable d'appliquer une température proche de celle optimale du développement de *Streptococcus thermophilus* soit (42 à 45°C), plutôt que celle proche de l'optimum du *Lactobacillus bulgaricus* (47 à 50°C). En générale les *Streptocoques* assurent le départ de la fermentation lactique. Cette température voisine de (42 à 45°C), est considérée comme étant la température symbiotique optimum entre *Streptocoques thermophilus* et *Lactobacilles bulgaricus* (Lamontagne, 2002).

Il est nécessaire de bloquer l'acidification des yaourts par l'application d'un refroidissement rapide à la température de 4 à 5°C; ce qui inhibe l'activité des bactéries lactiques (Keddar et Koubich 2009).

3.7. Le stockage

Les yaourts sont groupés par lots de vente, ils passent enfin dans les chambres froides de stockage à une température de 4°C (Roupas, 2008).

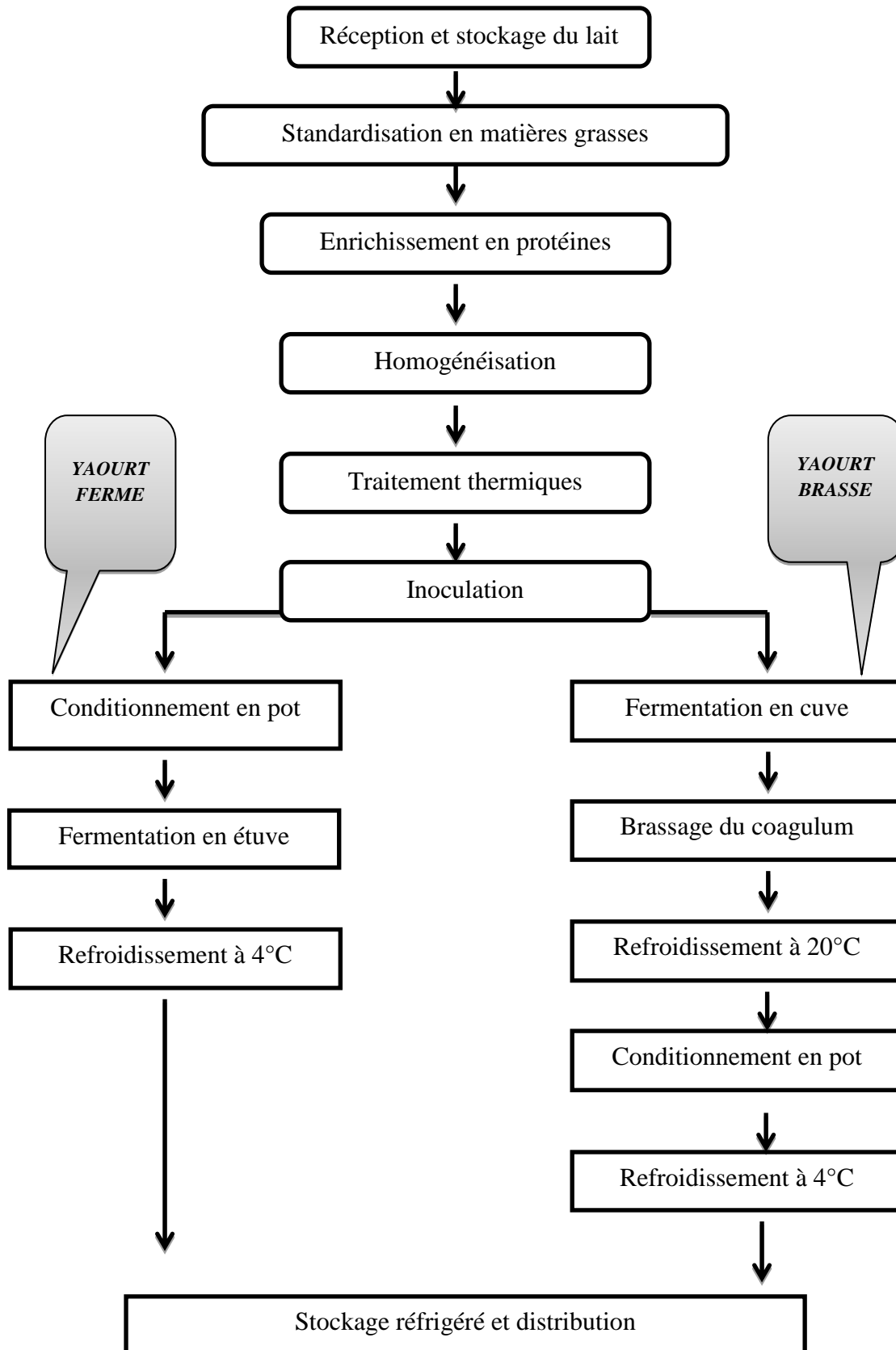


Figure 05. Diagramme de fabrication du yaourt (Béal et Sodini, 2003).

4. Qualité du yaourt

4.1. Qualité nutritionnelle

Les yaourts et les laits fermentés, au même titre que le lait, sont des aliments intéressants d'un point de vue nutritionnel (richesse en calcium et en vitamines, équilibre entre les fractions glucidiques, protéiques et lipidiques). En outre, ils présentent un certain nombre d'avantages par rapport au lait non transformé (Sodini et Béal, 2012). L'acide lactique est légèrement antiseptique: cette acidité inhibe le développement de germes pathogènes dans le tube digestif du consommateur. De plus, l'acidité stimule les mouvements péristaltiques du tube digestif, facilitant l'élimination des microorganismes pathogènes. *Streptococcus thermophilus* semble aussi empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin telles que les salmonelles et les colibacilles (Guarner et *al.*, 2008).

Cependant, les bactéries du yaourt ne s'implantent pas dans la flore intestinale. C'est pourquoi, pour maintenir leurs effets bénéfiques, un apport régulier est nécessaire. Les bactéries du genre *Lactobacillus* secrètent du peroxyde d'hydrogène antiseptique lui aussi. Le yaourt est donc un aliment vivant qui, d'une façon générale, diminue les symptômes de dérangement intestinal (Fredot, 2005).

Un yaourt pèse en moyenne 125 g mais sa composition nutritionnelle présentée (Tableau 01) est exprimée pour 100 g quels que soient les produits.

Tableau 01: valeur nutritionnelle de différents types de yaourts pour 100 g de produit (Anses, 2008).

	Énergie (Kcal)	Eau (g) %	Protéine (g) %	Glucides (g) %	Lipides (g) %
Yaourt nature au lait entier	70.6	86.5	3.8	5	3.6
Yaourt nature au lait Partiellement écrémé	47.7	88.2	4	4.8	1.02
Yaourt nature 0 % au Lait écrémé	42	88.6	4.4	5.1	0.07
Yaourt aromatisé sucre au lait demi-écrémé	84.8	81.1	3.1	14.2	1.4
Yaourt aux fruits sucre au lait demi-écrémé	91.8	77.6	3.2	15.2	1.69

4.1.1. Teneur en matière grasse

La teneur en matière grasse du yaourt dépend de la nature du lait utilisé. Le yaourt est le produit laitier qui contient le moins de matière grasse en comparaison avec d'autres produits comme les fromages (Tableau 02). Cette matière grasse est représentée une portion de 2.4% de la composition du yaourt. Le yaourt reste donc un aliment à apport modéré en matière grasse (Ben-Yahia, 2012).

Tableau 02 : Teneur en acides gras (AG) de différents types de yaourts pour 100 g de produit (Anses, 2008).

	AG saturés %	AG mono-insaturés %	AG polyinsaturés %
Yaourt nature au lait entier	2.22	0.99	0.9
Yaourt nature au lait partiellement écrémé	0.64	0.28	0.02
Yaourt nature 0 % au lait écrémé	0.04	0.01	0.002

4.1.2. Teneur en minéraux

Le yaourt est particulièrement riche en minéraux et oligo-éléments (Tableau 03). Un pot de yaourt couvre 13 % des besoins journaliers en phosphore et 16 % des besoins en calcium d'un adulte. Lors de la fermentation du yaourt, l'acide lactique produit permet la solubilisation du calcium (Tamime et Robinson, 1999). L'absorption du calcium au niveau de l'intestin se fait par un transport passif ou par un transport actif quand la quantité de calcium ingérée est inférieure à 800 mg. L'apport de calcium assuré par un pot de yaourt peut jouer un rôle dans sa propre absorption en stimulant le transport actif au niveau du duodénum (Bronner et Pansu, 1999). La teneur des yaourts en minéraux est présentée dans le tableau n°3.

Tableau 03 : Apport en Oligo-nutriments de 100 g de yaourt (Anses, 2008).

Oligo-éléments	Yaourt nature au lait Partiellement écrémé (100 g)	% Apports nutritionnels conseillés
Magnésium	12.8 mg	4%
Phosphore	99 mg	16%
Calcium	143mg	20%
Fer	0.13 mg	1.4%
Zinc	0.63 mg	7%
Sélénium	1.5 µg	2.5%

4.1.3. Teneur en vitamines

Le yaourt est une source de vitamines qui sont hydrosolubles et ne sont donc pas stockées dans l'organisme (à l'exception de la vitamine B12) (Tableau 04). De ce fait leurs apports doivent être assurés quotidiennement par notre alimentation. Ces vitamines sont impliquées dans de nombreuses fonctions : construction (croissance, développement du squelette...), fonctionnement et entretien de divers tissus et systèmes (transformation et utilisation des macronutriments, coagulation du sang...) (Anses, 2008). Les teneurs en vitamines des yaourts sont résumées dans le tableau n°4.

Tableau 04 : apport en vitamines de 100 g de yaourt (Anses, 2008).

	Yaourt nature partiellement écrémé (100 g)	% ANC
Vitamine D	0.2 µg	4%
Vitamine B1 (Thiamine)	0.05 mg	3%
Vitamine B2 (Riboflavine)	0.25 mg	14%
Vitamine B3 (Niacine)	0.22 mg	1%
Vitamine B5 (Acide pantothénique)	0.42 mg	7%
Vitamine B6 (Pyridoxine)	0.05 mg	4%
Vitamine B9 (Folate)	25 µg	8%
Vitamine B12	0.22 µg	6%

4.1.4. Effet du yaourt sur la santé

Plusieurs études ont rapporté les effets bénéfiques des laits fermentés sur la santé qui dépendent à la fois des souches utilisées et des métabolites produits. L'effet le plus étudié qui a valu la détermination *pro-biotique* par l'EFSA au yaourt est l'amélioration de la digestion du lactose. D'autres études ont porté sur l'effet du yaourt sur les diarrhées ou l'immunité. Malgré cela, les études portant sur ces effets du yaourt sont restreintes (Vierling, 2008).

- **Effet de la composition nutritionnelle du yaourt sur la santé**

Le yaourt exerce des effets bénéfiques sur la santé grâce à sa composition nutritionnelle. La richesse en protéines des yaourts leur confèrent un effet satiétogène (Chapelot et Payen, 2010), ce qui permet, dans le cadre d'une alimentation équilibrée, de lutter contre l'obésité. D'autre part, des essais cliniques ont permis de montrer qu'un yaourt

enrichi en vitamine D permet d'améliorer la glycémie des patients souffrant du diabète du type 2 (Nikooyeh et *al.*, 2011).

4.2. Qualité rhéologique

La transformation du lait au yaourt s'accompagne de la mise en place d'une structure complexe et d'un changement important des propriétés rhéologiques en passant d'un liquide légèrement visqueux à un gel viscoélastique à destruction non réversible. Les additifs et les étapes du procédé de fabrication jouent un rôle majeur sur le comportement rhéologique du yaourt qui sera apprécié par le consommateur (Paçi Kora, 2004). La structure et la texture du yaourt ont été largement étudiées dans la littérature (Sodini et *al.*, 2004). Parmi les facteurs qui influencent sur les propriétés physiques des yaourts, la composition en protéines et le traitement mécanique appliqué au yaourt après fermentation (Sodini et *al.*, 2004).

- **Influence de la composition en protéines sur la structure des yaourts**

La nature et la teneur en protéines laitières jouent un rôle important sur les propriétés physiques et la perception de texture des yaourts (Tamime et *al.*, 1999). Les modifications de microstructure du réseau gélifié des produits laitiers peuvent être mises en évidence par microscopie électronique à balayage (MEB). Un réseau protéique fin, homogène avec des pores de petites tailles est observé dans le cas de yaourts enrichis en poudre de lait. Par opposition, l'ajout de caséinates de sodium dans le mixe laitier conduit à une structure protéique hétérogène et lâche (Tamime et *al.*, 1984).

Les données de la littérature sur l'influence du ratio protéines sériques / caséinates sur les mesures de viscosité apparaissent contradictoires (Sodini et *al.*, 2004). Certains auteurs observent une augmentation de la fermeté du gel lorsque ce ratio augmente (Kailasapathy et Supriadi, 1998). D'autres études rapportent qu'à des taux constants en protéines totales. L'ajout des caséinates à la place de poudre de lait dans le mixe augmente fortement la viscosité du yaourt (Patocka et *al.*, 2004). Ces différences peuvent s'expliquer par le taux de dénaturation des protéines sériques et les micelles de caséines utilisées dans les études.

- **Influence du traitement mécanique sur la structure des yaourts**

Au cours de la fabrication d'un gel brassé, les différents traitements et, en particulier, les cisaillements, créés par les étapes de pompage, entraînent la déstructuration partielle du gel. Plusieurs hypothèses ont été évoquées pour expliquer ce phénomène de déstructuration du gel (Van Marle, 1998). Ce comportement peut être lié à une dégradation du réseau caséique

en agrégats de petites tailles. Par ailleurs, il a été montré que les yaourts fabriqués avec des souches productrices d'exopolysaccharides exigeaient plus d'énergie mécanique pour rompre les interactions entre exopolysaccharides et micelles que les interactions entre micelles (Hess *et al.*, 1997). Ces yaourts sont alors moins sujets à la déstructuration que les yaourts produits avec des souches non productrices d'exopolysaccharides. Un schéma de la dégradation des réseaux protéiques lors de l'application d'un traitement mécanique est proposé par Hess *et al.* (1997) en Figure 06.

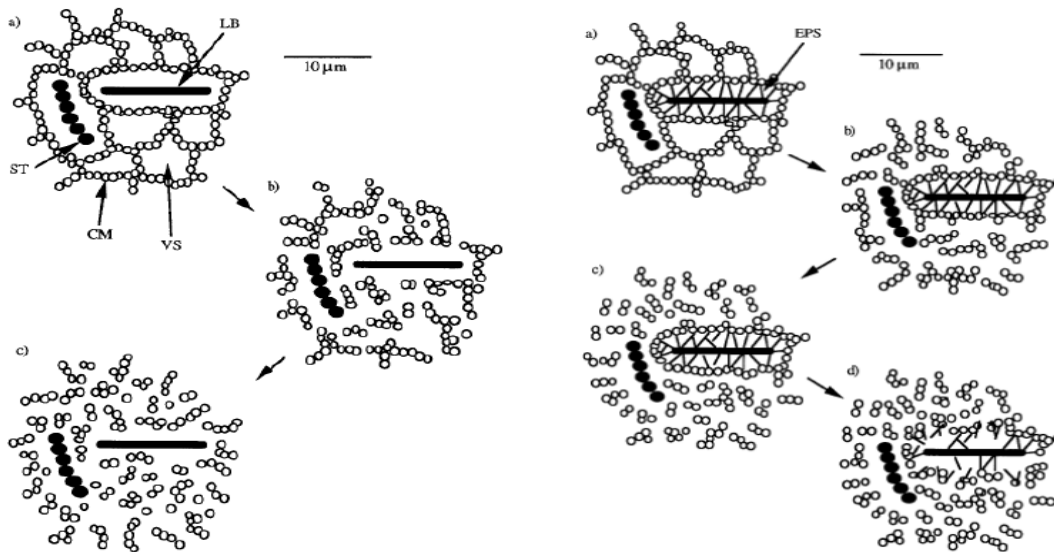


Figure 06. Diagramme schématisant le mécanisme de dégradation de la structure du yaourt par cisaillement dans le cas de yaourts produits avec des souches non productrices d'exopolysaccharides (1) ou produits avec des souches productrices d'exopolysaccharides (EPS) (2) (Hess *et al.*, 1997). CM : caséine micelles, ST : *Streptococcus thermophilus*, LB : *Lactobacillus Thermophilus*, VS : voidspaces (espaces vides).

Le traitement mécanique entraîne une fragmentation du réseau du gel natif, provoquant ainsi une diminution de sa viscosité (Van Marle, 1998, Cayot et Lorient, 1998). La rupture du réseau protéique est fonction de l'intensité du traitement mécanique et de la température à laquelle il est appliqué. En effet, même si l'effet est faible, un yaourt présente une plus grande résistance à la déstructuration à température élevée (50°C) qu'à faible température (10°C) (Rönnegard et Dejmek, 1993).

4.3. Qualité organoleptique

L'analyse sensorielle qui demeure aujourd'hui une approche indispensable à l'évaluation de la qualité d'un produit alimentaire, étroitement associée à la caractérisation

des propriétés physico-chimiques, elle peut être un outil d'acide à la maîtrise de la qualité et la formulation des produits transformés (Bauer et *al.*, 2010).

IV.3.1. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques sur la qualité organoleptique

- **Aptitude acidifiante**

La production d'acide lactique est l'une des principales fonctions des bactéries lactiques en technologie laitière, car cet acide organique permet de concentrer et de conserver la matière sèche du lait, en intervenant comme coagulant et antimicrobien (Kuipers et *al.*, 2000).

Le processus d'acidification du yaourt dépend de l'activité symbiotique de *S. thermophilus* et *L. bulgaricus*. L'importance de l'acide lactique durant la fabrication du yaourt peut se résumer comme suit (Leory et *al.*, 2002):

- ✓ Il aide à déstabiliser les micelles de caséine, ce qui conduit à la formation du gel;
- ✓ Il donne au yaourt son gout distinct, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt (Singh et *al.*, 2006);
- ✓ Il intervient comme inhibiteur vis-à-vis des microorganismes indésirables (Leory et *al.*, 2002). L'acidité du yaourt est communément exprimée en degré Dornic (1°D 0.1g d'acide lactique/L de lait). Elle se situe entre 100 et 130°D (Loones, 1994). Le développement de l'acidité est important non seulement pour la fermentation du lait, mais également nécessaire pour un arôme, une texture et une saveur bien équilibrées de yaourt (Özer et Atasoy, 2002).

- **Aptitude protéolytique**

Pour satisfaire leurs besoins en acides aminés, les bactéries du yaourt doivent dégrader la fraction protéique du lait constituée de caséine et de protéines sériques, *Lactobacillus bulgaricus* dégrade la majorité des caséines notamment la caséine β , les *Lactocoques* hydrolysent les caséines κ et β avant la caséine α_s , leur système protéolytiques est constitué de deux types d'enzymes distinctes : les protéases et les peptidases, *Lactobacillus bulgaricus* possède des protéases localisées, pour l'essentiel, au niveau de la paroi cellulaire, cette activité protéasique permet d'hydrolyser la caséine en polypeptides (Annika et Marc, 2004).

Il est connu que l'activité protéolytique de *L. bulgaricus* est plus élevée que celle du *S. thermophilus* (Gürsoy et *al.*, 2010). Quelques hydrolysats de protéine augmentent le taux

d'acidification de yaourt, réduisent le temps de fermentation et augmentent la viabilité des deux bactéries dans le lait (Oliveira et *al.*, 2001).

- **Aptitude aromatisante**

Divers composés volatiles et aromatiques interviennent dans la saveur et l'appétence du yaourt. C'est principalement le lactose qui joue un rôle dans la formation de ces composés.

Parmi ceux-ci, outre l'acide lactique qui confère au yaourt son goût acidulé, c'est l'acétaldéhyde qui a été identifié comme le plus important des composés carbonyliques qui contribuent à l'arôme typique du yaourt (Enel et *al.*, 2011).

Il provient en grande partie de la transformation de la thréonine. En outre, les deux bactéries du yaourt *L. bulgaricus* et *S. thermophilus* sont capables de produire l'acétaldéhyde mais à des proportions différentes. Sa concentration optimale est estimée entre 17 et 41 mg/L durant la fermentation du yaourt (Chaves et *al.*, 2002).

Le diacétyl contribue à donner un goût délicat dû à la transformation de l'acide citrique et, secondairement, du lactose par certaines souches de streptocoques. D'autres composés (acétone, acétoïne, butane-2-one, etc.) contribuent à l'équilibre et à la finesse de la saveur (FAO, 1995).

- **Aptitude texturante**

La texture et l'onctuosité constituent, pour le consommateur, des importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Certaines souches bactériennes produisent, à partir du glucose, des polysaccharides qui sont constitués de longues chaînes d'unités répétitives de sucres simples et/ou de dérivés de glucides plus ou moins ramifiés (Ruas-Madiedo et *al.*, 2001).

Il est couramment admis que la production des exopolysaccharides est le résultat de l'action exercée par *S. thermophilus*, mais *L. bulgaricus* possède une aptitude à produire des EPS composés de galactose, glucose, rhamnose (Tamime et Robinson, 1999).

L'utilisation de ces bactéries produisant les EPS augmente la résistance du coagulat yaourt aux chocs physiques et thermiques, et joue un rôle important en réalisant la fermeté satisfaisante et la viscosité apparente du yaourt (Vaningelgem et *al.*, 2004).

Ils ont l'avantage d'être "naturels", requis en faible concentration (de l'ordre de mg/L) de pouvoir remplacer les agents stabilisants par leurs propriétés de modifier positivement la texture, viscosité et la sensation des laits fermentés (Marshall et Rawson, 1999).

4.3.2. Analyse sensorielle du yaourt

L'analyse sensorielle est la science développée pour permettre la mesure des propriétés sensorielles des aliments. Cette mesure est réalisée par un panel de sujets experts sensoriels, préalablement sélectionnés et entraînés, qui vont évaluer les produits de façon objective et répétable (Bauer *et al.*, 2010).

Utilisant l'homme comme instrument de mesure, l'analyse sensorielle permet de quantifier des sensations complexes en éliminant toute subjectivité dans l'appréciation d'un produit (Urvoy *et al.*, 2012).

L'analyse sensorielle permet par exemple d'évaluer l'effet d'un ingrédient, du procédé de fabrication ou des conditions de conservation sur les propriétés sensorielles du produit. Elle permet également de comparer les propriétés sensorielles des produits en cours de développement avec celles des produits concurrents et permet en outre de mieux comprendre les préférences des consommateurs (Bauer *et al.*, 2010).

Il existe trois méthodes principales employées dans l'évaluation sensorielle : les tests de discrimination, les tests descriptifs et les tests hédoniques (Pripp, 2013).

- **Tests de discrimination**

D'après Raiffaud (2010), les tests de discrimination permettent de comparer des produits proches d'aspect et de déterminer une perception statistique de différence. Les méthodes s'appellent tests triangulaires, duo-trio, par paire, de classement...etc.

Leur avantage est qu'ils sont faciles à mettre en œuvre et que leur dépouillements statistiques est aisé. Leurs inconvénients sont : indication uniquement en terme de différence ; obligation d'un échantillonnage précis, obtenu dans les mêmes conditions et d'une préparation à la dégustation identique (Raiffaud, 2010).

Pripp (2013) a ajouté que les tests de discrimination sont habituellement basés sur le compte du nombre de bonnes ou de fausses réponses correspondantes à un septum d'essai.

La question d'intérêt ou de but proposée par Lawless et Heymann (2010) est la suivante :

- Les produits sont-ils perceptibles de manière différente ?
- Il s'agit de déterminer s'il existe une différence notable entre les produits (Pripp, 2013).

- **Tests descriptifs**

D'après Raiffaud (2010), ces tests s'apparient sur des grilles critériées qui permettent de caractériser plus finement un produit suivant ces différentes composantes sensorielles: aspect extérieur, odeur, goût, texture. Ils sont très utilisés par les jurys de dégustation de produits labellisés ou dans des concours.

Pripp (2013) a défini les tests descriptifs comme étant des méthodes qui mesurent des intensités des différentes caractéristiques sensorielles d'un produit.

La question d'intérêt ou de but spécifique à ce test qui est: comment les produits diffèrent-ils dans les caractéristiques spécifiques ? (Lawless et Heymann, 2010).

Une telle analyse est employée couramment dans l'évaluation de différentes caractéristiques sensorielles (Pripp, 2013).

- **Tests hédoniques ou olfactifs**

Les tests hédoniques essayent de mesurer le degré d'apprécier ou de détester un produit alimentaire (Pripp, 2013). Il s'agit d'interroger des individus non entraînés uniquement sur le plaisir éprouvé.

Les épreuves hédoniques ont pour objectifs d'analyser le niveau de satisfaction, à un instant donné, des consommateurs interrogés pour une famille de produits (Urvoy et *al.*, 2012).

D'après Lawless et Heymann (2010), ce test fournit une opportunité pour rechercher des catégories de personnes qui peuvent aimer les différents modes de présentation d'un produit, par exemple, différentes couleurs ou saveurs. Elle peut également fournir une occasion pour chercher l'information diagnostique concernant les raisons d'aimer ou de détester un produit.

La question d'intérêt ou de but donnée par Lawless et Heymann (2010) pour ce test est comme suit : à quel point les produits sont aimés ou quels sont les produits préférés?

Souvent relié à l'essai du consommateur pour évaluer des produits (Pripp, 2013).

Matériel et méthodes

1.1. Matériel et méthodes

1.1.1. Matière première

La matière première est représentée par le lait frais et le lait reconstitué. Dans tous les cas, elle doit être de bonne qualité microbiologique, exempte d'antibiotiques ou d'autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisée.

1.1.2. Poudre de lait

La poudre de lait utilisée est une poudre de lait entier la marque commerciale "Loya". Cette poudre est conditionnée sous vide en sachet de 200g et stockée à température ambiante pour toute la durée de l'étude.

1.2. Optimisation de la production du yaourt

Un design expérimental par la matrice statistique de PLACKETT-BURMAN de 6 variations a été utilisé pour la conception des expériences et l'analyse des résultats. Les facteurs étudiés sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 05 : Facteurs utilisés pour l'optimisation de la production du yaourt.

Facteur de variation	Niveau minimum	Niveau maximum
Sucre	10g/L	20g/L
Arome	0	3g/L
Colorant	0	2g/L
Lait de vache	0	1L
Lait en poudre	0	1/L
L.B	0	90g/L
S.T	0	90g/L
Concentration	0	30g/L

L.B : *Lactobacillus bulgaricus* ; **S.T** : *Streptococcus thermophilus*

Le Tableau 6 représentant le design donné par la matrice statistique de PLACKETT-BURMAN.

Tableau 06 : Plan expérimental donné par la matrice statistique de PLACKETT-BURMAN.

Blocks	Sucre	Arome	Colorant	FL	Origine	concentration
1	-1	-1	1	1	1	-1
1	-1	1	-1	-1	-1	1
1	-1	1	1	-1	1	-1
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
1	1	1	-1	1	-1	-1
1	1	1	1	-1	1	1
1	-1	-1	-1	1	1	1
1	1	-1	1	1	-1	1
1	1	-1	-1	-1	1	1
1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	1	1	-1	1	1	-1
1	-1	1	1	1	-1	1

FL : Ferment lactique ; 1+ : est pour la forte concentration de variables; -1 : est pour la faible concentration de variables.

1.2.1. Matrice d'expérience

La matrice d'expérience est une méthode mathématique qui représente, sous forme codée ou non codée, l'ensemble des expériences à réaliser. C'est un tableau constitué de n lignes correspondant aux n expériences à réaliser et de k colonnes, correspondant aux k variables étudiées. L'élément X_{ij} de la matrice ainsi formée correspond à la valeur des niveaux que prend la $j^{\text{ième}}$ variable à la $i^{\text{ième}}$ expérience.

1.3. Fabrication du yaourt

Les étapes suivantes ont été suivies en vue d'élaborer les échantillons de yaourt en laboratoire.

1.3.1. Préparation du lait

Deux types de lait sont utilisés pour cette étude : le lait de vache cru et le lait en poudre pasteurisé et conservé à 4°C fourni par l'unité "Candia" lait de fabrication du lait et ses dérivés.

1.3.2. Première pasteurisation

C'est un traitement thermique du lait. Il permet l'élimination des germes pathogènes du lait se fait à une température de 72°C pendant 30 secondes pour ne pas altérer les propriétés organoleptiques du lait.

1.3.3. La standardisation

1.3.3.1. Poudrage

Le lait est éventuellement enrichi en matière sèche soit par concentration ou par addition de poudre de lait. Cette opération, tout en enrichissant le lait, augmente son taux de protéines, et par la suite la consistance du yaourt. Dans notre travail, l'ajout de la poudre de lait est effectué selon l'ordre de la matrice.

1.3.3.2. Sucrage

L'ajout de sucre est effectué de l'ordre de la matrice donné, il faut s'assurer d'une dissolution correcte pour éviter une détérioration de la structure du yaourt.

1.3.4. L'homogénéisation

Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange.

1.3.5. Second pasteurisation

Le lait est chauffé à 70°C pendant 30 secondes et ainsi sont détruites les cellules microbiennes banales et pathogènes.

1.3.6. Le refroidissement du lait

Le lait reste quelques minutes à la température de pasteurisation, ce refroidissement a pour effet d'améliorer les conditions de fermentation. Les lactalbumines sont en partie scindées au stade peptides et acides aminés. Par ailleurs, cette action est bénéfique pour la consistance du produit et sa conservation.

1.3.7. L'ensemencement

L'inoculation se fait à l'aide d'un levain comprenant exclusivement une ou plusieurs souches de chacune des bactéries spécifiques du yaourt: *Streptococcus thermophilus*, et *Lactobacillus bulgaricus*. On utilise des cultures fournies par les deux marques commerciales de yaourt "soumam".

Il faut s'assurer d'une bonne agitation pour rendre parfaitement homogène le mélange lait ferment.

1.3.8. Aromatisation et coloration

L'ajout d'arôme vanille poudre et le colorant blanc est effectué selon l'ordre de la matrice donné. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange.

1.3.9. Réchauffage

Encore une fois, on augmente la température jusqu'au 42°C (température d'ensemencement) pour favoriser la croissance des bactéries lactiques ensemencées. Cette étape est effectuée à l'aide d'une étuve de laboratoire.

1.3.10. Conditionnement

Le mélange lait-ferments est conditionné en pots. Le matériau d'emballage qui est couramment utilisé pour la confection des pots de yaourt est le plastique (PET). Ces pots préformés sont remplis ou on assure à la fois : le dosage des pots et la fermeture hermétique de ces pots au moyen d'un papier film.

Ces opérations se déroulant en respectant les conditions d'hygiène en vue d'éviter la contamination du yaourt.

1.3.11 L'étuvage

Les pots passent ensuite à l'étuve à 45°C où la fermentation s'opère. Le lactose se transforme partiellement en acide lactique. Cette opération dure de 5 heures.

1.3.12 La réfrigération

L'action du froid freine puis suspend la fermentation. A la sortie de l'étuve, les pots sont soumis à un refroidissement à une température de 4°C dans le réfrigérateur.

Le diagramme de fabrication du yaourt est résumé à la figure 7.

1.4 Analyse sensorielle

L'analyse sensorielle est un passage obligatoire pour les industriels du marché agroalimentaire. En effet, cette technique vise la satisfaction des besoins du consommateur tout en réduisant les pertes aussi bien pour le fabricant que pour le revendeur. Ainsi, selon le type, l'objectif de l'évaluation sensorielle c'est de connaître le yaourt présentant les meilleurs caractéristiques organoleptiques (couleur, flaveur et saveur) par un jury de dégustation.

1.4.1. Sujet

Seize panélistes, âgés de 22 à 26 ans, essentiellement des étudiants en Master 2 Agroalimentaire et Contrôle de Qualité de L'Université Amar Telidji-Laghouat, dont 14 de sexe féminin et deux de sexe masculin ont été retenus pour cette analyse. Ils ont été sélectionnés d'après leur disponibilité et leur motivation de participer aux essais sensoriels

ainsi que leur formation dans l'évaluation sensorielle, car ce panel a déjà participé en Master 1 à des tests sensoriels sur plusieurs produits alimentaires dont les produits laitiers.

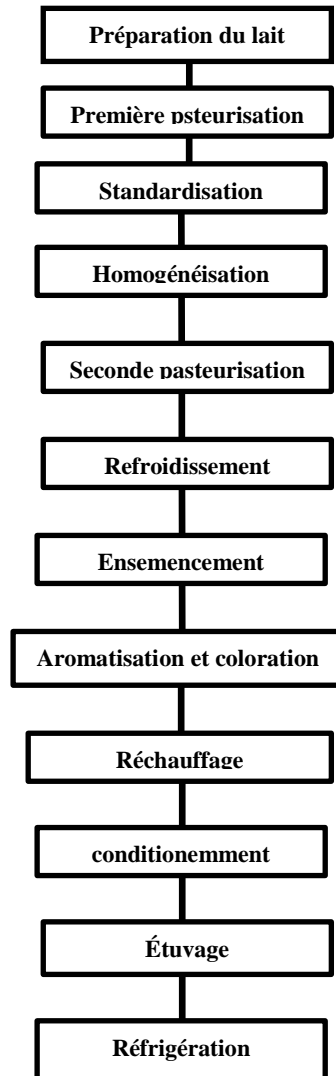


Figure 07. Diagramme de fabrication du yaourt étuvé.

1.4.2. Entraînement des sujets

Avant de commencer l'évaluation sensorielle du yaourt, le panel a reçu un rappel durant une séance d'une heure sur les règles de base de la dégustation, la compréhension et l'échelle de notation utilisé dans cette étude, ainsi que la façon dont les bulletins seront remplis.

1.4.3. Déroulement de l'analyse

L'échelle (note/5) a été utilisée dans cette étude afin d'évaluer la qualité organoleptique du yaourt.

- **Description de la tâche des dégustateurs**

La dégustation du yaourt étuvé s'est déroulée dans le laboratoire n° 4 de département des Sciences Agronomiques, car toutes les conditions sont réunies en termes d'éclairage, de température et de propreté ainsi que l'absence de bruit et des odeurs désagréables.



Figure 08. Description du matériel de l'analyse sensorielle du yaourt étuvé (Photo originale, 2021).

Nous avons présenté aux dégustateurs les 12 pots de yaourt fabriqués pour cette étude qui sont étiquetés avec un code de trois chiffres. Tous les pots sont retirés du réfrigérateur au moment de l'analyse.

Les dégustateurs doivent individuellement évaluer chaque pot de yaourt, en donnant la note sur cinq à chaque paramètre de la qualité organoleptique selon un bulletin de dégustation (figure 9).

Pendant la dégustation, ils doivent se rincer la bouche avec de l'eau pour éliminer le gout du yaourt précédent.

Fiche de dégustation

Nom :

Prénom :

Yaourts	Couleur (Note/5)	Odeur (Note /5)	Gout (Note/15)			Texture (Note/5)
			Acide (Note /5)	Sucre (Note /5)	Gout (Note /5)	
Y01						
Y02						
Y03						
Y04						
Y05						
Y06						
Y07						
Y08						
Y09						
Y10						
Y11						
Y12						

Figure 09. Fiche de dégustation pour l'appréciation de la qualité organoleptique du yaourt étuvé.

1.5. Analyses des données

Les moyennes ont été calculées par l'Excel à partir des données obtenues de la dégustation de seize sujets pour chaque yaourt étuvé et pour chaque paramètre de la qualité organoleptique. Les données de notre étude sont soumises à une analyse de la variance par un logiciel CoStat version 6.400. Le logiciel Minitab est utilisé pour construire le plan expérimental pour l'optimisation de la production du yaourt étuvé.

Résultats et discussions

Dans cette partie, nous détaillons les résultats des analyses sensorielles obtenus et l'optimisation de la production des yaourts étuvés.

1.1. Analyses sensorielles

Les résultats des analyses sensorielles des yaourts préparés expérimentalement sont rapportés dans les figures ci-dessous.

1.1.1. L'appréciation de la couleur

Les résultats de l'appréciation de la couleur des yaourts préparés sont illustrés dans la figure suivante:

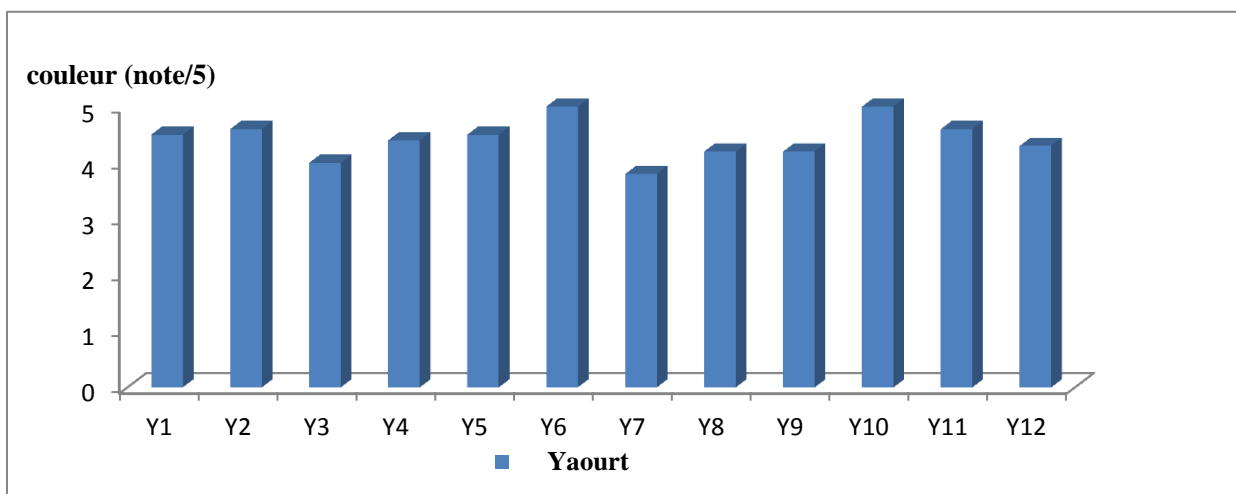


Figure10: Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation de la couleur des yaourts.

A partir ces résultats, nous avons observés que le yaourt y6 présente le taux d'appréciation de la couleur le plus élevé par rapport aux autres yaourts.

1.1.2. L'appréciation de l'odeur

Les résultats de l'appréciation de l'odeur des yaourts préparés sont illustrés dans la figure suivante:

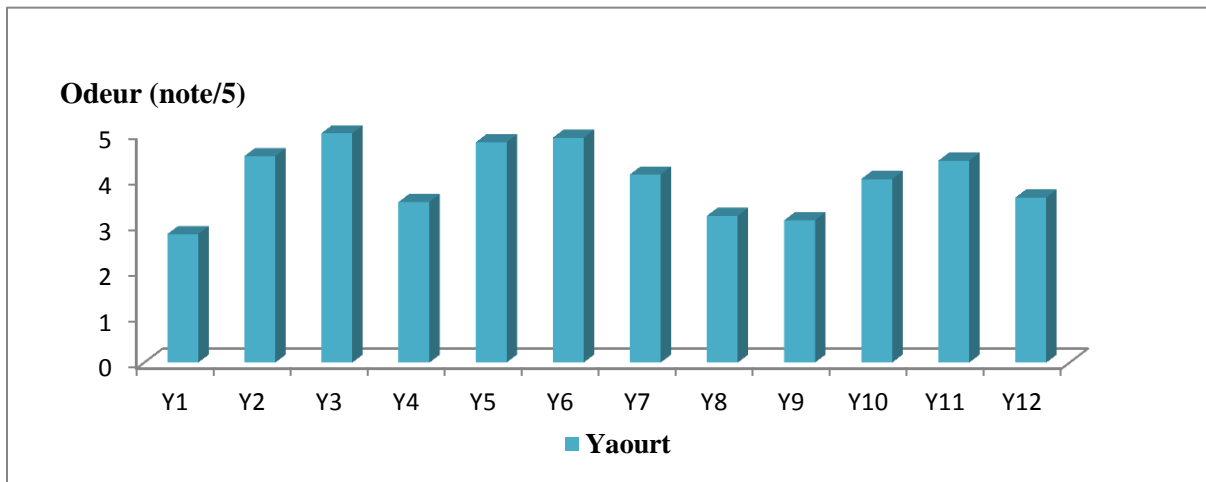


Figure11: Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation de l'odeur des yaourts.

D'après ces résultats, nous avons observés que les yaourts y3, y6, y5, y2, y11 et y10 présentent des taux d'appréciation d'odeur supérieure par rapport aux autres yaourts.

1.1.3. L'appréciation du gout

1.1.3.1. L'acidité

Les résultats de l'appréciation du gout acide des yaourts préparés sont illustrés dans la figure suivante:



Figure12: Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation du gout acide des yaourts.

D'après ces résultats, nous avons observés que le yaourt y10 présente une appréciation du goût acide la plus faible par rapport aux autres yaourts. Cependant, les yaourts y2 et y11 sont les plus acides.

1.1.3.2. Sucre

Les résultats de l'appréciation du goût sucré des yaourts préparés sont illustrés dans la figure suivante:

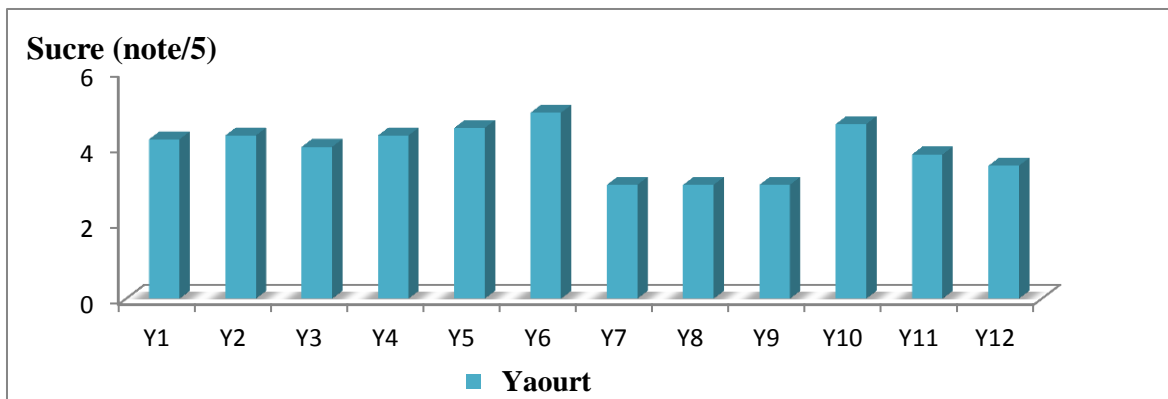


Figure13: Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation du goût sucré des yaourts.

A partir des résultats de moyenne, nous avons observés que les yaourts y6, y5, y4, y2, y1 et y3 présentent des taux d'appréciation d'un goût sucré supérieure par rapport aux autres yaourts.

1.1.3.3. Le goût

Les résultats de l'appréciation du goût des yaourts préparés sont illustrés dans la figure suivante:

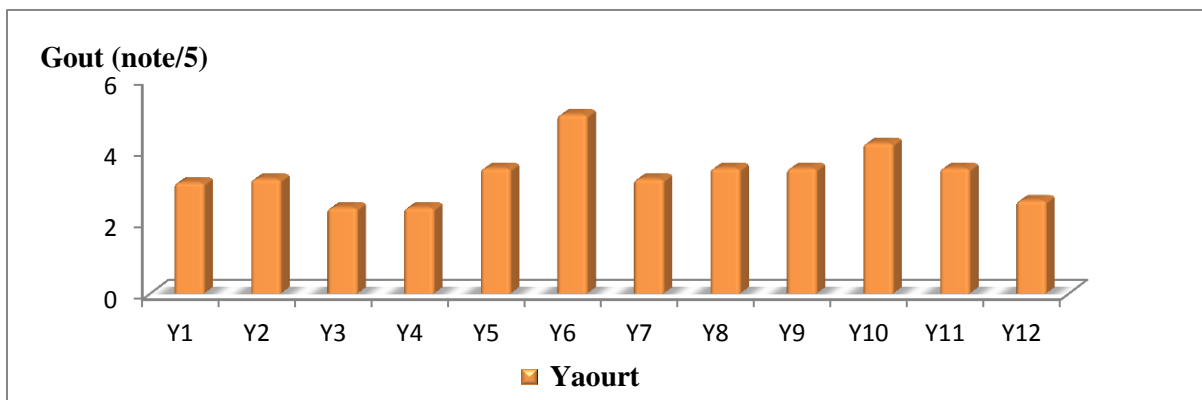


Figure14: Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation du goût des yaourts.

Selon ces résultats, nous remarquons que le yaourt y6 est clairement apprécié par rapport aux autres yaourts.

1.1.4. L'appréciation de la texture

Les résultats de l'appréciation de la texture des yaourts préparés sont illustrés dans la figure suivante:

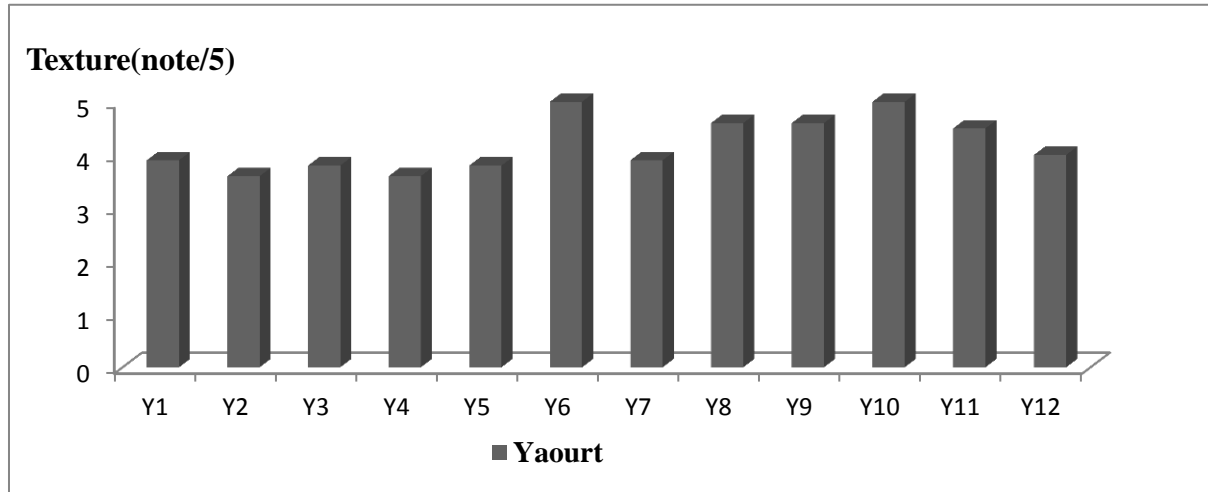


Figure15: Histogrammes représentant les résultats de l'appréciation de la texture des yaourts.

A partir des résultats obtenus, nous avons observés que les yaourts y6, y10, y8, y9, y11 et y12 présentent des taux d'appréciation de la texture plus élevés par rapport aux autres yaourts.

2.1. Discussion

Les résultats des analyses sensorielles mettent en évidence l'existence de la différence entre les yaourts préparés en termes de descripteurs odeur gout et texture. Il apparait clairement que les yaourts y2, y3, y5, y6, y7 et y11 ont une odeur différente que les autres yaourts. Les yaourts y1, y2, y4, y5, y6 et y10 ont une saveur sucrée plus intense par rapport aux autres yaourts. Les résultats obtenus de l'appréciation de la texture ont montré qu'il y a une différence entre les yaourts y4, y6, y7, y9, y10, y11 et les autres yaourts. Alors pour les autres paramètres testés au cours de cette étude, les résultats montrent l'absence des différences entre les 12 yaourts produits au laboratoire.

En général, les yaourts qui ont une saveur sucrée plus intense que les autres, cela pourrait être dû à l'ajout d'un agent de texture qui pouvant intervenir dans la fabrication des yaourts étuvés (Paçi Kora, 2004). D'après Nahon et al., (2000), une saveur sucrée peut être renforcée par l'ajout de saccharose.

Concernant l'odeur, le panel statué que l'intensité de l'arôme vanille est plus importante dans les yaourts y2, y3, y5, y6, y7 et y11 et de moyenne intensité pour les autres yaourts fabriqués. En effet, de nombreuses études mettent en évidence les effets des constituants de la matrice laitière sur la rétention des composés de l'arôme, Parmi eux, l'effet des protéines lactiques (Jouenne et Crouzet, 2000), des sucres (Nahon et al., 2000) et de l'épaississant (Brennan et al., 2002).

Enfin, d'après notre panel, les yaourts y4, y6, y7, y9, y10 et y11 ont une texture meilleure que les autres yaourts expérimentaux. Selon Pascephol et Sherkat (2008), divers facteurs à savoir la qualité, la composition de lait et de sa matière grasse, le taux d'extrait sec total, le traitement thermique de lait, les interactions des bactéries lactiques utilisées, le taux d'acidification de lait et le temps d'entreposage, ont tous un effet sur la texture et les propriétés sensorielles du yaourt.

1.2. Résultats de l'étude de l'optimisation de la production du yaourt par le design de PLACKETT-BURMAN

Le plan de Plackett-Burman est un plan de criblage qui permet de déterminer les facteurs les plus significatifs ayant une action positive sur la production du yaourt. Les résultats obtenus montrent que la production du yaourt dans les 12 essais est variable allant de 20.10 jusqu'à 29.8 dont l'effet principal de chaque variable sur la production du yaourt a été évalué (Tableau 7).

Pour l'ensemble des variables testées, les facteurs qui ont semblé avoir des effets positifs et significatifs ($P < 0.05$) sont le sucre, la concentration du lait et l'origine du lait avec des moyennes carrées égales à, 71.54, 38.52, 15.64 respectivement. Les niveaux élevés des autres facteurs comme l'arôme, le colorant et les ferments lactiques ont présenté des effets négatifs sur la production du yaourt.

Les résultats des analyses statistiques des données sont représentés dans le tableau 8.

Tableau 7. Résultats du plan d'expérience de Plackett-Burman avec la réponse observée (production du yaourt).

Essai	Sucre	Arome	colorant	FL	Origine	concentration	Réponse
1	-1	-1	1	1	1	-1	23,8
2	-1	1	-1	-1	-1	1	24,5
3	-1	1	1	-1	1	-1	25
4	-1	-1	-1	-1	-1	-1	20,1
5	1	1	-1	1	-1	-1	26,5
6	1	1	1	-1	1	1	29,8
7	-1	-1	-1	1	1	1	25,9
8	1	-1	1	1	-1	1	28,9
9	1	-1	-1	-1	1	1	29,6
10	1	-1	1	-1	-1	-1	27,1
11	1	1	-1	1	1	-1	29,5
12	-1	1	1	1	-1	1	28,8

+1 : est pour la forte concentration de variables; -1 : est pour la faible concentration de variables.

Tableau 8. Degré de variables indépendantes à effet positif ou négatif sur la production du yaourt selon les niveaux du plan d'expérience de Plackett-Burman.

Facteurs	Effect	Coefficient	SE	P	Niveau de signification
Sucre	4,883	2,442	0,360	0,001	S
Arome	1,717	0,858	0,360	0,063	N.S
Colorant	1,483	0,742	0,360	0,095	N.S
FL	0,217	0,108	0,360	0,776	N.S
Origine	2,283	1,142	0,360	0,025	S
concentration	3,583	1,792	0,360	0,004	S

FL : ferment lactique; ES : Erreur standard ; N.S : non significatif; S : significatif.

Le diagramme de Pareto (Figure 16) montre l'influence des facteurs étudiés sur la production du yaourt.

Selon la Figure 16, nous avons remarqué que le facteur semblant le plus significatif avec un effet positif sur la production du yaourt sont le sucre avec le pourcentage d'influence le plus élevé (48.83%).

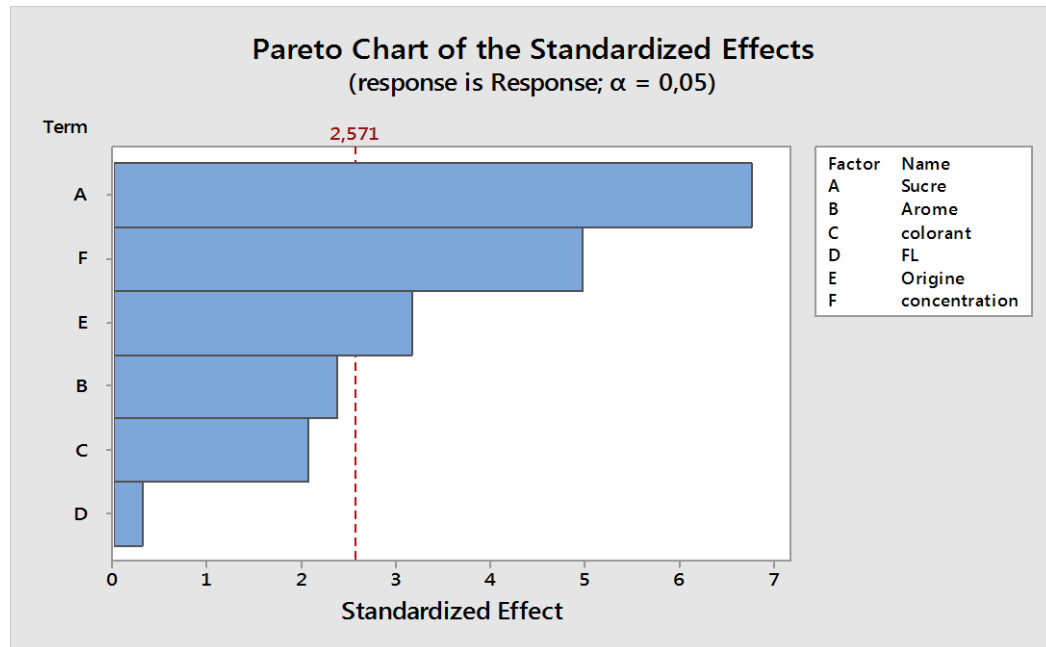


Figure16 : Diagramme de Pareto des effets standard de six facteurs sur la production du yaourt.

Les valeurs obtenues de R^2 (94.77 %), de R^2 ajusté (88.49 %), indiquent l'efficacité et l'adéquation du modèle proposé avec des valeurs très satisfaisantes de R^2 , R^2 ajusté.

Les résultats expérimentaux obtenus du design de Plackett-Burman ont montré que le point optimum est égale à 29.8 avec les coordonnées suivantes : sucre, 20 g; concentration, 60 g; origine du lait, lait de vache; arôme, 3 g; colorant, 2 g; ferments lactiques, *Lactobacillus bulgaricus*.

L'équation de régression obtenue est la suivante :

$$\text{Réponse} = 27,125 + 2,442 \text{ Sucre} + 0,858 \text{ Arome} + 0,742 \text{ colorant} + 0,108 \text{ FL} + 1,142 \text{ Origine} + 1,792 \text{ concentration}$$

2.2. Discussion

L'optimisation de la production du yaourt a été effectuée selon le design expérimental de Plackett-Burman avec 12 essais. L'objectif essentiel de ce plan est de trier et identifier les facteurs les plus importants ayant une action significative sur la qualité du yaourt (Sasirekha et al., 2012). Les valeurs de R^2 et R^2 ajusté confirment l'adéquation du modèle. Un modèle ayant une valeur R^2 supérieure à 0.9 est considéré comme adéquat (Chen et al., 2009 ;

Sasirekha et *al.*, 2012). Dans notre étude, trois facteurs semblent avoir une action significative sur la qualité du yaourt. Ces derniers sont : le sucre, la concentration du lait et l'origine du lait.

Les variables considérées dans cette étude sont reconnues pour être parmi les plus importantes pour déterminer la qualité et les caractéristiques organoleptiques des yaourts. En outre, les domaines choisis pour chaque variable correspondent à ceux utilisés généralement dans le but d'optimiser la production du yaourt afin d'obtenir un produit final avec les caractères désirés, comme cela a été démontré pour d'autres produits alimentaires (Abdullah et *al.*, 1994).

Une teneur de 20g/1L de sucre semble être favorable pour la production d'un yaourt avec un goût sucré favorable. On peut expliquer ce résultat par le fait d'amélioration du goût des produits, résulte probablement d'une légère production lactique très appréciée par les panélistes et ce par fermentation modérée des bactéries lactiques spécifiques natives (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) du lactose constitutive du milieu (Guyot, 1992).

Une teneur de 60g/1L de la poudre de lait a montré un optimum de production du yaourt avec une qualité meilleure. La consistance et la viscosité du yaourt sont pour une grande partie sous la dépendance de la matière sèche du lait. La matière grasse confère de l'onctuosité, masque l'acidité et améliore la saveur. Les protéines améliorent la texture et masquent aussi l'acidité. (Soukoulis, Panagiotidis, Koureli, et Tzia, 2007). On peut ajouter 2 à 3% de poudre de lait (20 à 30g par litre de lait) pour accroître la consistance et obtenir des yaourts bien fermes. Plus on ajoute de poudre de lait, plus le yaourt devient ferme (Christine, 2010). Ce qui confirme les résultats obtenus dans notre étude.

Le troisième facteur ayant une action significative sur la production du yaourt selon le design adopté de Plackett-Burman, est l'origine du lait. La matière première peut être soit du lait frais, soit du lait recombinaison, soit du lait reconstitué, ou encore un mélange (FAO, 1995). Les yaourts produits avec du lait provenant d'autres espèces que les bovins présentent des caractéristiques sensorielles et physicochimiques différentes, en raison des différences de composition du lait (Tamime et Robinson, 2007).

Conclusion

La recherche de la qualité est actuellement une préoccupation fondamentale pour l'industrie agro-alimentaire. Dans ce contexte notre étude a été menée sur la détermination matricielle de quelques paramètres technologiques sur la qualité d'un yaourt étuvé. Les résultats de l'appréciation de la qualité organoleptique des yaourts mettent en évidence l'existence de la différence entre les yaourts expérimentaux en terme de descripteurs odeur, gout et texture. L'analyse statistique des autres descripteurs montre également l'absence des différences de la qualité organoleptique entre les 12 yaourts étuvés fabriqués.

De plus, Le plan de Plackett-Burman est un plan de criblage qui permet de déterminer les facteurs les plus significatifs ayant une action positive sur la production du yaourt. Les résultats des analyses statistiques de l'ensemble des variables testées montrent que le sucre, la concentration et l'origine du lait sont les facteurs qui ont des effets positifs et significatifs ($P < 0.05$). Tandis que, les autres facteurs comme l'arôme, le colorant et les ferments lactiques ont présenté des effets non significatifs sur la production du yaourt étuvé.

Enfin, il serait intéressant de fabriquer un nouveau produit de meilleure qualité sensorielle et nutritionnelle à fin de satisfaire le consommateur qui devient de plus en plus exigeant en qualité des produits alimentaires.

- Il serait intéressant d'élargir cette étude sur plusieurs autres types de yaourt.
- Etudier d'autres paramètres technologiques.

Références bibliographiques

- Affer .M, Bouziane.T,** (2013). L'effet de l'incorporation de la farine de pois chiche sur le lait fermenté type yaourt.
- Alm L.** (1982). Effect of fermentation on milk fats of Swedish fermented milk products. *J Dairy Sei* 65,522-530.
- Annika M. M et Marc B.** (2004). Industrial Use and Production of Lactic Acid Bacteria. EdMarcel Dekker,pp381- 427.
- Amiot J., Fournier S., Lebeuf Y., Paquin P. et Simpson R.,** (2002). Composition, propriétés physicochimiques, valeur nutritive, qualité technologique et techniques d'analyse. In : Science et technologie du lait, transformation du lait (Vignola C. L), 2^{eme} Edition, Lavoisier, Paris, France.
- Bauer W. J; Badoud, R; Lölinger, J.,**(2010). Science et technologie des aliments: principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. PPUP Presses polytechniques, p720. ISBN : 978- 2880747541.
- Boubchir-Ladj K.,** (2011). Effets de l'enrichissement (avec des concentrés de protéines laitières) et des paramètres technologiques sur la qualité du yaourt fabriqué à laiterie Soummam d'Akbou. Thèse présentée par l'obtention du diplôme de Magister de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou Algérie, 100p.
- Boudraa, G., Benbouabdellah, M., Hachelaf, W., Boisset, M., Desjeux, J. & Touhami, M.** (2001). Effect of Feeding Yogurt Versus Milk in Children With Acute Diarrhea and Carbohydrate Malabsorption. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 33, 307-313.
- Bronner, F. & Pansu, D.** (1999). Nutritional Aspects of Calcium absorption. *The Journal of Nutrition*. 192, 9-12.
- Ben-Yahia** (2012). Etude du dialogue hôte/bactéries lactiques du yaourt chez des rats de gnotobiotiques. Thèse de Doctorat. L'Institut des Sciences et Industries du vivant et de l'Environnement (AgroParis Tech), France. 284p.
- Brennan, E. M., Setser, C. et Schmidt, K. A.** (2002). Yoghurt thickness: effects on flavor perception and liking. *Journal of Food Science*, 67, 2785-2789.
- Beal et Sodini.** (2003). Fabrication des yaourts et des laits fermentés, Techniques de l'ingénieur ,158 pages
- Canzi, E., Casiraghi, M., Zanchi, R.,** (2002). Yogurt in the diet of the elderly: a preliminary investigation into its effect on the gut ecosystem and lipid metabolism. *Lait* 82, 713-723.
- Cayot, N., Taisant, C. et Voilley, A.** (1998). Release and Perception of isoamyle acetate from a starch-based food matrix. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 1301-3206.
- Chapelot, D. et Payen, F.** (2010). Comparison of the effects of a liquid yogurt and chocolate bars on satiety: a multidimensional approach... *British Journal of Nutrition*, 103, 760-767.

- Chaves A., Fernandez M., Lerayer S., Mierau L., Kleerebezem M. et Hugenholtz J.,** (2002). Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 5656-5662.
- Chen, Y., Friedman, R., Yu, E., Fang, W., et Lu, X.** (2009). Supervisor-subordinate *guanxi*: Developing a three-dimensional model and scale. *Management and Organization Review*, 5(3): 375–399.
- Courtin P., Monnet M. et Rul F.** (2002). Cell- wall proteinases PrtS and Prt B have a different role in *Streptococcus thermophilus* / *Lactobacillus bulgaricus* mixed cultures in milk. *Microbiology*, 148, 3413 -3421.
- CODEX ALIMENTARIUS,** (2007). Lait et produits laitiers. Première édition. Rome.
- CODEX ALIMENTARIUS,** (1975).-Normes n°A 11(A).- Rome : FAO/OMS. P86.
- Décret n°88-1203 du 30 décembre** (1988), relatif aux laits fermentés et au yaourt ou yoghurt In NOR: ECOC8800150D **cort H Torriani S., Curk M., et Janssens D.,** (1994). Caractérisation générale
- Chandan Ramesh Ramesh C., White Charles II., Kilara Arun., Hui YH.** (2006). Manufacturing yogurt and fermented milks. USA: Blackwell publishing. 359 p.
- Doleyres Y.** (2003). Production en conteneur du ferment lactique probiotique par la technologie des cellules immobilisées. Thèse Doctorat. Université de Laval. Québec. 167 pages.
- Dellaglio F., DE Rossart H., Torriani S., Curk M. et Janssens D.** (1994).Caractérisation générale des bactéries lactiques. Tec et Doc (Eds), Loriga, 1, 25-116.
- EFSA** (2010). Scientific Opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia. *EFSA Journal* 8(9):1777, 29p. 4.
- Enel E. S., Atamer M., Gursoy A. Et Oztekin F.S.,** (2011).Changes in some properties of strained (Suzme) goat's yogurt during storage. *Small Ruminant Research*, 99, 171-177.
- Fridot E.,** (2005). Connaissance des aliments-bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, tec et doc, Lavoisier: 25(397 pages).
- FAO.** (2003). Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Chapitre 5 :Laits fermentés. Retrieved June 12, 2018,
- Jouenne, E. et Crouzet, J.** (2000a). Determination of apparent binding constants for aroma compounds with β lactoglobulin by dynamic coupled column liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 5396-5400.
- Jouenne, E. et Crouzet, J.** (2000b). Effect of pH on Retention of Aroma Compounds by β -Lactoglobulin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1273-1277.

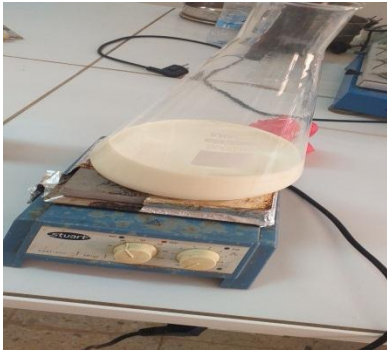
- Jeantet R., Croguennec T., Mahaut M., Schuck P. et Brulé G.,** (2008). Les produits laitiers. 2^{eme} Edition, Tec et Doc, Lavoisier, Paris, France.
- Gürsoy A., Durlu-Özkaya F., Yildiz F. et Aslim B.,** (2010). Set Type Yoghurt Production by Exopolysaccharide Producing Turkish Origin Domestic Strains of *Streptococcus thermophilus* (W22) and *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* (B3). *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 16, 81-86.
- Ghalem.K,** (2014). L'effet de variation des doses de jus de citron sur la qualité physico-chimique, microbiologique et organoleptique d'un lait fermenté type yaourt étuvé.
- Keddar.F, Koubich. S,** (2009). Etude de l'effet antagoniste entre les deux bactéries du yaourt (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) et les germes pathogènes (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*).
- Kailasapathy, K. and Supriadi, D.** (1998). "Effect of partially replacing skim milk powder with whey protein concentrate on the sensory qualities of lactose hydrolysed acidophilus yoghurt." *Milchwissenschaft milk science international*, 53:385-389.
- Kuipers O.P., Buist G. et Kok J.,** (2000). Current strategies for improving food bacteria. *Research Microbiology*, 151, 815-822.
- Leory F., Degeest B. and DE Vuyst L.** (2002). A novel area of predictive modeling: describing the functionality of beneficial micro-organisms in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 73, 251-259.
- Lamontagne M.,** (2002). Produits laitiers fermentés : In Science et technologie du lait, transformation du lait (Vignola C. L.). 2^{eme} Edition, Lavoisier, Paris, France.
- Lamoureux L.** (2000). Exploitation de l'activité β -galactosidase de culture de bifidobactéries en vue d'enrichir des produits laitiers en galacto-oligosaccharides. Mémoire de maîtrise, Université de Laval, Canada.
- Loones. A** (1994) Lait fermenté par des bactéries lactiques. In « bactéries lactiques ». DE ROISSART H. et LUQUET F.M. Ed. Loriga, 2. Paris. P :37-151.
- Lucey J.A.,** (2004). Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties. *International Journal of Dairy Technology*, 57, 77-84.
- J.J. Rousselle,** Thèse de doctorat. Les contours actifs, une méthode de segmentation application à l'imagerie médicale. Université François Robelais, (2003).
- Marty-Teyssset C. DE la Torre F and Garel J-R.** (2000). Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii ssp bulgaricus* upon aeration : involvement. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(1), p :262-297
- Schorsch C., Wilkins D.K., Jones M.J. et Norton I.T.,** (2001). Gelation of casein whey mixtures: effect of heating whey proteins alone or in the presence of casein micelles. *Journal of Dairy Research*, 68, 471-481.

- Sasirekha B, Srividya S.** Occurrence of plasmid mediated AmpC β -lactamses among *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* clinical isolates in a tertiary care hospital in Bangalore. *Ind J Microbiol.* (2012);52:174–179.
- Schmidt T J.L., Tourneur C. et Lenoir J.** (1994). Fonction et choix des bactéries lactiques laitières in « bactéries lactiques ». Vol II. DE ROISSART H. et LUQUET F.M. Ed. Loriga, paris. 37-46.
- Singh Sudheer K., Ahmed Syed U. and Ashok P.** (2006). *Yogurt science and technology.* 2nd Ed. Cambridge : woodhead Publishing.
- Megalla SE, Hafez AH** (1984). Detoxification of aflatoxin BI' by acidogenous yogurt. *Mycopathologia* 77,89-91.
- Makhtar N.** (2002). Contribution à l'étude de conformité de l'étiquetage de la qualité Microbiologique des yaourts commercialisés à Dakar. (9): 30p.
- Ngounou C., Ndjouenkeu R., Mbofung F. et Noubi I.** (2003). Mise en évidence de la biodisponibilité de calcium et du magnésium au cours de la fermentation du lait par des bactéries lactiques isolées du lait caillé du Zébu. *Journal of Food Engineering*, 57, 301-307.
- Nahon, D. F., Harrison, M. et Roozen, J. P.** (2000). Modeling flavor release from aqueous sucrose solutions, using mass transfert and partition coefficients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1278-1284.
- Özer B. et Atasoy F,** (2002). Effects of addition of amino acids, treatment with B-galactosidase and use of heat-shocked cultures on the acetaldehyde level in yoghurt. *International Journal Dairy Technology*, 55, 166-170.
- Paci Kora E.** (2004). Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impacts respectifs sur la perception et de la texture et de la flaveur ? Thèse de Doctorat présentée à l'Institut National Agronomique. Paris Grignon.
- Peter Roupas.** (2008). Predictive modelling of dairy manufacturing processes. *International Dairy Journal*.18 :741– 753.
- Pala, V., Sieri, S., Berrino, F.** (2011). Yogurt consumption and risk of colorectal cancer in the Italian European prospective investigation into cancer and nutrition cohort. *International Journal of Cancer*. 129, 2712-2719.
- Paseephol T., et Sherkat F.,** (2008). Rheology and texture of set yogurt as affected by inulin addition. *Journal of Texture Studies*, 39, 617-634.
- Patocka, G., Cervenkova, R. and Jelen, P.,** (2004). "Textural effects of soluble whey protein isolate in stirred yogurt". *Milchwissenschaft milk science international*, 59(1-2):37-40.
- Rønnegard, E. and Dejmeek, P.,** (1993). "Development and breakdown of structure in yoghurt studied by oscillatory rheological measurements." *Lait*, 73(4):371.

- Ruas-Madiedo P., Hugenholtz J. et Zoon P.,** (2001). An overview of the functionality of exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 12, 163-171.
- Rousseau M.** (2005). La fabrication du yaourt, les connaissances. INRA. 9 pages.
- Rasic J, Curcic R, Stojsavljevic T, Obradovic B.** (1971). A study on the amino acids of yoghurt. *Milchwissenschaft* 26, 496-499.
- Toba T, Watanabe A, Adachi S** (1983). Quantitative changes in sugars, especially oligosaccharides, during fermentation and storage of yogurt. *J Dairy Sei* 66, 17-20.
- Tamine A.Y. and Robinson R.K.** (1999). *Yogurt science and technology*. 2nd Ed. Cambridge : woodhead Publishing.
- Tamime, A. Y., et Robinson, R. K.** (2007). *Tamime and Robinson's yoghurt : science and technology*. Cambridge: Woodhead Publishing LTD.
- Tinsson W,** (2010). *Plans d'expériences: construction et analyses statistiques*, c_Springer-Verlag Berlin Heidelberg.532p.
- Vierling E.** (2008). *Aliments et boissons filières et produits*. 3ème édition Biosciences et techniques.Paris.pp :15-16.
- Van Marle, M.E.,** (1998). "Structure and rheological properties of yoghurt gels and stirred yoghurts" Thèse de Doctorat University of Twente. Enschede, Pays Bas.
- Vaningelgem F., Van der Meulen R., Zamfir M., Adriany T., Laws A.P. et De Vuyst L.,** (2004) *Streptococcus thermophilus* ST 111 produces a stable high-molecular-mass exopolysaccharide in milk-based medium. *International Dairy Journal*, 14, 857-864.

Annexes

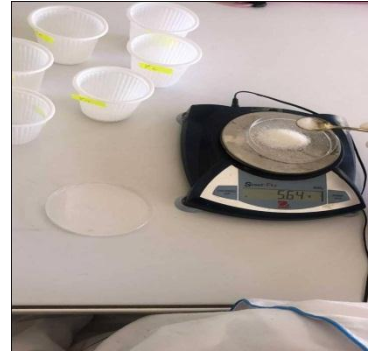
Annexe 1 : le materiel de laboratoire utilisé



Un agitateur



Etuve



Balance

Titre : Détermination matricielle de l'effet de quelques paramètres technologique sur qualité d'un lait fermenté de type yaourt étuvé.

Résumé

Le présent travail a pour objectif la détermination matricielle de l'effet de quelques paramètres technologiques (sucre, arôme, colorant, ferment lactique, origine du lait et la concentration) sur la qualité d'un lait fermenté du type yaourt étuvé utilisant les analyses sensorielles. L'optimisation de la production du yaourt étuvé, utilisant le design expérimental par la matrice statistique de PLACKETT-BURMAN de 6 facteurs. Les résultats des analyses sensorielles mettent en évidence l'existence de la différence entre les yaourts expérimentaux en termes de descripteurs odeur, goût et texture. L'analyse statistique des autres descripteurs montre également l'absence des différences de la qualité organoleptique entre les 12 yaourts étuvés fabriqués. Les résultats de l'étude de l'optimisation de la production du yaourt étuvé montrent l'existence des facteurs qui ont des effets positifs et significatifs. Tandis que, les autres variables testés ont présenté des effets non significatifs sur la production du yaourt étuvé. Nos résultats indiquent que le sucre, la concentration et l'origine du lait sont les paramètres qui ont des effets positifs et significatifs sur la production et la qualité du yaourt étuvé.

Mots-clés : Yaourt étuvé, Analyse sensorielle, optimisation de la production.

Title: Matrix determination of the effect of some technological parameters on quality of a fermented milk of the steamed yogurt type.

Summary

The objective of this work is to determine the effect of a few technological parameters (sugar, flavor, dye, lactic acid, milk origin and concentration) on the quality of a fermented milk of the steamed yogurt type using sensory analyzes. The optimization of the production of steamed yogurt, using the experimental design by the statistical matrix of PLACKETT-BURMAN of 6 factors. The results of sensory analyzes reveal the existence of the difference between experimental yogurts in terms of descriptors odor, taste and texture. Statistical analysis of the other descriptors also shows the absence of differences in organoleptic quality between the 12 steamed yogurts produced. The results of the study on the optimization of the production of steamed yogurt show the existence of factors that have positive and significant effects. However, the other variables tested had insignificant effects on the production of steamed yogurt. Our results indicate that sugar, milk concentration and origin are the parameters that have positive and significant effects on the production and quality of steamed yogurt.

Keywords: Steamed yogurt, sensory analysis, production optimization.

العنوان : تحديد المصفوفة لتأثير بعض المتغيرات التكنولوجية على جودة الحليب المخمر من نوع الزبادي المبخر

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحديد تأثير بعض العوامل التكنولوجية (السكر ، النكهة ، الصبغة ، حمض اللاكتيك ، أصل الحليب وتركيزه) على جودة الحليب المخمر من نوع الزبادي المبخر باستخدام التحليلات الحسية. تحسين إنتاج الزبادي المبخر باستخدام التصميم التجريبي بواسطة المصفوفة الإحصائية لـ :

PLACKETT-BURMAN المكونة من 6 عوامل.

تكشف نتائج التحليلات الحسية عن وجود فرق بين الزبادي التجريبي من حيث مواصفات الرائحة والطعم والقوام. يُظهر التحليل الإحصائي للواصفات الأخرى أيضاً عدم وجود اختلافات في الجودة الحسية بين 12 نوعاً من الزبادي المطهوع على البخار. أظهرت نتائج الدراسة الخاصة بتحسين إنتاج الزبادي المبخر وجود عوامل ذات تأثيرات إيجابية ومعنوية. ومع ذلك ، فإن المتغيرات الأخرى التي تم اختبارها لم يكن لها تأثير كبير على إنتاج الزبادي على البخار. تشير نتائجنا إلى أن السكر وتركيز الحليب وأصله هي العوامل التي لها تأثيرات إيجابية وهامة على إنتاج ونوعية الزبادي المبخر.

الكلمات الرئيسية: زبادي مبخر، تحليل حسي، تحسين الإنتاج.