



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



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : BOUDELA Meriem

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

FILIERE : SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE

Thème

Etude de l'influence de certains paramètres technologiques sur la qualité organoleptique d'un yaourt brassé par l'utilisation d'une matrice d'expériences

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mourad MAKOUDI	Maître Assistant A	Président
Safia LOUNICI	Maître Assistant A	Examinatrice
Khadidja ALLALI	Maître de conférences B	Encadreur

Année universitaire : 2020-2021

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail A mon très cher père et ma chère mère
en témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les
sacrifices et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation*

Que dieu leur prête santé.

*A mes très chères sœurs et mes frères pour leurs soutiens moraux et
leurs conseils précieux tout le long de mes études.*

A toutes les personnes de ma grande famille

*A tous mes enseignants depuis le cycle primaire jusqu'au cycle
universitaire.*

Remerciements

Je tiens à remercier avant tout ALLAH qui m'a donné la santé, le courage, la volonté et la passion de pouvoir réaliser ce travail.

En tout premier lieu Je remercie du fond du cœur mon encadreur madame ALLALI Khedidja , Docteur au département des sciences agronomiques à l'université Amar Telidji de laghouat ,Pour l'honneur qu'elle me fait en m'encadrant, pour l'aide qu'elle me donné, pour ses remarques ,sa patience ,sa disponibilité et ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je tiens aussi à exprimer mes plus grands respects et mes vifs remerciements au Professeur GOUDJAL Yacine pour ses conseils précieux, Qu'il soit assuré de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger le travail.

En fin je remercie tous qui sont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Liste des figures.....page

No table of figures entries found.

Liste des tableaux.....page

No table of figures entries found.

Liste des abbreviations

FAO: Food and Agriculture Organization.

UFC/g : Unité Formant Colonie par gramme.

Av. J.-C : Avant Jésus Christ.

Kcal : kilo Calorie.

DDA : Degré Dornic d'acidité.

TMB: Tank de maturation brassé.

ISO: International Organization for Standardization.

***L.bulgaricus* :** *lactobacillus bulgaricus*.

***S.thermophilus* :** *streptococcus thermophilus* .

RMN : Résonance Magnétique Nucléaire.

Sommaire

Dédicaces	I
Remerciements	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures	IV
Liste des abréviations	V
<i>Introduction</i>	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

No table of contents entries found.

L'industrie agro-alimentaire étant préoccupée par le renforcement de sa position concurrentielle sur le marché, elle se focalise de plus en plus sur les performances organoleptiques recherchées par le consommateur, en développant des nouvelles recettes des produits. En effet, maximiser l'appréciation d'un aliment permet d'augmenter la probabilité d'un ré-achat du produit par le consommateur et d'assurer son succès (Anderson, 1998).

La production laitière est une industrie en plein essor susceptible d'offrir des produits frais satisfaisants, et qui correspond aux exigences et aux préférences du consommateur. (Mahaut et *al.*, 2000).

Les laits fermentés sont des produits laitiers constitués une partie essentielle de l'alimentation humaine dans de nombreuses régions du monde depuis des temps immémoriaux, transformés par une fermentation essentiellement lactique qui aboutit à l'acidification et à la gélification du lait, Il s'agissait de permettre une meilleure conservation du lait qui est une matière première rapidement périssable. Depuis, ces produits ont rapidement gagnés de l'intérêt du fait de leurs caractéristiques organoleptiques agréables (fraîcheur, acidité et onctuosité). Environ 400 noms génériques sont appliqués aux produits laitiers traditionnels et industriels fabriqués à travers le monde. Ils sont principalement liés au type du lait utilisé, aux microorganismes impliqués et à la technologie appliquée ainsi que leur durée de conservation (Lupien, 1998).

En tenant compte des progrès technologiques accomplis, le yaourt parmi ces laits fermentés obtenue à l'aide de deux souches de bactéries bien spécifiques *Lactobacillus bulgaricus* (*L. bulgaricus*) et *Streptococcus thermophilus* (*S. thermophilus*), est un produit laitier populaire le plus consommé dans le monde et dont la consommation annuelle est estimée à 14.9 millions de tonnes. Celui-ci constitue une partie importante de régime alimentaire (Saint-Eve et *al.*, 2017) , il s'agit d'un produit souple qui fournit d'importantes quantités d'éléments nutritifs. En vue de ses caractéristiques organoleptiques, la qualité sensorielle du yaourt qui est apprécié pour son goût et sa texture est l'un des facteurs les plus importants qui influence sur le choix du consommateur (Bruzzzone et *al.*, 2013).

L'industrie laitières est de plus en plus à la requête d'une valeur ajoutée à leur produits (les yaourts), en incorporant des ingrédients tenant compte des agents de texture, les additifs (arôme, colorants), des épaississants ou encore des concentrés, et aussi le type des ferments lactiques spécifiques (Tamime et *al.*, 1999). Les répercussions de ces paramètres fluctuants sur la qualité hygiénique, physico-chimique, nutritionnelle et surtout

organoleptique du produit fini, L'objet de nombreux travaux de part le monde qui ont montré la relation étroite qui existe entre ces paramètres ainsi que les procédés technologiques utilisés sur l'obtention d'un produit élaboré répondant aux normes requises et exigences de plus en plus élevées du consommateur. Par conséquent, l'optimisation de la qualité du yaourt est très importante. Cependant, les procédés classiques de cette optimisation (une variable à la fois) ont été utilisés plus souvent que d'autres, mais ces derniers sont lents et souvent ne parviennent pas à identifier l'optimum des facteurs parce que les interactions entre les différents facteurs sont négligées, pour cela des méthodes statistiques ont été utilisées (Baixin et *al.*, 2011).

Dans notre étude, un plan d'expériences de Plackett-Burman a été appliqué pour déterminer les facteurs les plus influençant sur la qualité du yaourt brassé et la manière de leurs influences, et pour réduire le nombre d'expériences à réaliser.

Notre travail se divise en trois parties :

- ✓ La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur le lait fermenté (yaourt) et les autres titres.
- ✓ Dans la deuxième partie (la partie expérimentale), nous allons présenter le matériel et les méthodes utilisées afin de contrôler la qualité de le produit allant de la matière première jusqu'au produit fini, et une modélisation un plan d'expériences de Plackett-Burman en vue de déterminer les paramètres les plus influents sur le yaourt.
- ✓ La troisième partie est réservée aux résultats expérimentaux obtenus et leur discussion. Ce travail se termine par la présentation d'une conclusion générale qui récapitule notre étude et met en valeur les principaux résultats obtenus.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

1. Généralités sur les laits fermentés

En cherchant à conserver le lait le plus lentement possible, les premiers éleveurs ont tâtonnés d'innombrables expérimentations en passant par le lait caillait jusqu'à la compréhension de la fermentation lactique, compte tenu de le développement technologique et industriel actuel (Treillon, 2000).

1.1. Définition des laits fermentés

En France (décret n° 88-1203, 30 décembre 1988, art 1 et suivant), la dénomination « laits fermentés » est réservée aux produits laitiers préparés depuis une époque très lointaine en Asie centrale, dans les pays méditerranéens et dans la pluparts des régions d'élevage (Keddar et *al.*, 2009). Avec différents types du laits (écrémé, concentré, en poudre ...) « ayant subi un traitement thermique au moins équivalent à la pasteurisation (Pelletier et *al.*, 2007).

La coagulation du lait fermenté ne devrait pas être obtenue par d'autres moyens que ceux qui résultent de l'activité des microorganismes appartenant à l'espèce ou aux espèces caractéristiques de chaque produit » (De Roissart et Luquet, 1994).

1.2. Diversité des laits fermentés

Selon Robinson et *al* (2002) , il existe un grand nombre du laits fermentés provenant de plusieurs pays, ces dernières sont appliqués aux produits traditionnels et industrialisés peuvent inclure quelque variantes qui les rend différents entre eux, surtout en tenant compte : la matière première, la flore microbienne, la technologies, la textures, les goûts et la durées de conservation, ils sont très populaires en raison à leurs propriétés organoleptiques spécifiques (Bourlioux et *al.*, 2011), qui donnant des différents produits comme suivant :

- les yaourts.
- les fromages blancs (fromages blancs lissés ou battus, de campagne ou en faisselle, petits-suisse).
- les desserts lactés frais (crèmes desserts, laits gélifiés. . .) (Cesbron et *al.*, 2016).

Nous aborderons dans ce travail le produit du : « yaourt ».

2. Le yaourt

Il est bien connu que les produits laitiers frais fermentés sont des aliments de grande consommation dans beaucoup de pays. L'évolution actuelle du marché des produits alimentaires incite l'industrie agroalimentaire à élaborer sans cesse de nouveaux produits. Le yaourt est l'un de ces produits les plus vendus sur le marché du fait de la diversification de la gamme disponible (Fiszman et *al.*, 1999). En plus de son importance nutritionnelle, le yaourt a été identifié pendant longtemps en tant que nourriture saine due à l'action bénéfique des bactéries vivantes qu'il contient (Tamime et Robinson, 1999).

2.1. Définition et réglementation du yaourt

Le yaourt est un « produit laitier coagulé moyennement acide obtenu par l'acide lactique issu de la fermentation du lactose par les deux bactéries lactiques spécifiques *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* » (qui constituent la “symbiose yaourt”) (Surono, 2011), du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition des substances (lait en poudre, poudre de lait écrémé, les protéines lactosériques concentrées ou non, la caséine alimentaire,.. etc.) (Lupein, 1995).

Les microorganismes du produit final doivent être viables et abondants. Selon la Fédération internationale laitière et le Codex alimentarius, le nombre de bactéries vivantes dans les laits fermentés à la date limite de consommations doit être égale à 10^7 UFC/g (Unité Formant Colonie par gramme) rapportées à la partie lacté dans le produit (Luquet, 1990). De plus la quantité d'acide lactique libre contenue dans 100 g du yaourt ne doit pas être inférieure à 0,7g pour 10^7 bactéries/gramme lors de la vente au consommateur (Loones et *al.*, 1997).

La législation de nombreux pays exige que les bactéries du yaourt soient vivantes dans le produit mis en vent (Anonyme, 1995). D'autres pays admettent qu'à la suite d'un traitement thermique destiné à améliorer la durée de conservation, le produit ne contient plus de bactéries vivantes. Cette pratique n'est pas recommandable, car elle modifie les propriétés du yaourt (FAO, 1995).

2.2. Historique de la production du yaourt

La fermentation a été la première technique employée par l'homme pour la conservation du lait. Les laits fermentés seraient originaires du Moyen-Orient. Les laits fermentés égyptiens traditionnels, Laban rayeb et Laban Khad, étaient consommés en Egypte dès 7000 Av. J.-C. (Shah ,2006).

Les anciens turcs d'Asie, où ils vivaient en tant que nomades, auraient été les premiers à fabriquer du yaourt. Le premier nom turc enregistré est apparu au 8^{ème} siècle après JC sous le nom de «Jugurt » (Prajapati et *al.*, 2003) . Empereur François Ier de France a été guéri d'une infection intestinale débilite par le yaourt qui est préparé par un médecin turc dont il a été le seul à avoir la recette. En 1905, Le Bulgare Stamen Grigorov a découvert la bactérie *Lactobacillus bulgaricus* qui donne l'acidité au yaourt (Lablondele, 2007).

Le facteur majeur dans l'évolution des produits fermentés notamment le yaourt est que la région du Moyen-Orient à un climat subtropical et la température peut y atteindre environ 40°C. C'est idéal pour la croissance des bactéries de démarrage et du lait aigri et coagulé rapidement. (Kosikowski et Mistry, 1997).

Sa popularité est maintenant étendue à l'Europe par l'Asie en raison des invasions et de nombreuses autres régions du monde et la Turquie restent toujours des zones clés pour la production et la consommation du lait fermenté (Shah, 2006).Le yaourt a donc une histoire traversant le temps et une dimension anthropologique passionnante (Goulet, 2017).

2.3. Dénomination du yaourt

Le mot yaourt “yogurt ou yogourt” est dérivé de mot turc “Jugurt” qui signifie « épaissir » (Tamine et *al.*, 1980). Est un aliment ancien qui a porté de nombreux noms au cours des millénaires: katyk (Armenia), dahi (India), zabadi (Egypt), mast (Iran), leben raib (SaudiArabia), laban (Iraq et Lebanon), roba (Sudan), iogurte (Brazil), cuajada (Spain), coalhada (Portugal), dovga (Azerbaijan), etmatsoni (Georgia, Russia, and Japan) (Fisberg et *al.*, 2015) . Le Tableau 01 donne les synonymes des yaourts et des laits fermentés liés au yaourt utilisé dans différents pays.

Tableau 01 : Noms des yaourts et des produits de type yaourt utilisés dans divers pays et régions du monde (Shah , 2006).

Traditional name	Country / region	Traditional name	Country / region
Jugurt/eyran	Turkey	Tiaourti	Greece
Busa	Turkestan	Cieddu	Italy
Kissel melka	Balkans	Mezzoradu	Sicily
Urgotnic	Balkan mountains	Gioddu	Sardinia
Leben/leban	Lebanon and some Arab countries	Filmjolk/fillbunke	scandinavia
Zabady	Egypt and Sudan	Surmelk/tettemelk	
Mast/dough	Iran and Afghanistan	Tarho	Hungary
Roba	Iraq	Viili	Finland
Dahi/dadhi/dahee	India, Bangladesh, Nepal	Skyr	Iceland
Mazun/matsoon	Armenia	Yogurt/yaort/yourt/	Rest of the world (“y” is replaced by “j” in some instance)
katyk	Transcaucasia	Yaourti/yahourth yaghourt	

2.4. Classification du yaourt

En technologie, Les yaourts peuvent être classés en 2 grandes types en fonction de la technologie de fabrication basant sur l'état physique dans le conteneur de vente au détail (Afonso et al ., 1999) ,c'est la consistance ou non du gel formé peuvent être fabriqués (Carole et al., 2002) :

- Les Yaourts étuvés : Ce sont les yaourts incubé, et refroidi en pot, ont une texture ferme à surface lisse (Vignola, 2002).
- Les yaourts brassés : Ce sont les yaourts coagulés en cuve et brassés avant la mise en pot ce qui leur confère une texture lisse plus ou moins fluide (Jeantet et al., 2008).

- Les Yaourts à boire : Peut être considéré comme un yaourt brassé de faible viscosité (Tamime et *al.*, 1980).

2.4.1. Les différentes sortes du yaourt brassé

Différentes sortes du yaourt brassé sont trouvés sur le marché selon leurs teneurs en matière grasse, leur goût, et les ingrédients additionnés. Le tableau 02 résume ces différenciations :

Tableau 02 : Les différentes sortes du yaourt brassé et leurs caractéristiques.

Les différentes sortes de yaourt	Les caractéristiques
a) Selon la teneur en matière grasse : - entier - partiellement écrémé - écrémé	➤ 3% de matière grasse en poids. ➤ Entre 0.5% et 3% de matière grasse. ➤ Au maximum 0.5% de matière grasse (Gosta, 1995).
b) Selon le goût -nature - sucrés - « aux fruits », au miel, à la confiture	➤ Ils ne subissent aucune addition. ➤ Ils sont additionnés du saccharose à un taux variable de %. ➤ Ils subissent une addition inférieure à 30% du produit (Fredot, 2005).
c) Selon les additifs alimentaires : -aromatisé - fruité - light	➤ Addition d'arôme. ➤ Addition de fruit. ➤ Addition d'édulcorant sans sucre (Mahaut et <i>al.</i>, 2000).

2.5. Technologies de fabrication du yaourt brassé

Du point de vue technologique, les procédés de fabrication industriels actuels du yaourt sont néanmoins homogènes (Bourlioux et *al.*, 2011), peuvent différer selon qu'en a affaire à un « étuvé » dont la fermentation se fait après conditionnement en pot et le yaourt « brassé », dont la fermentation se fait en cuve (Boubchir-Ladj, 2004). Rendant la planification de la production pour le yaourt brassé plus difficile que pour les autres types du yaourt (Lütke et *al.*, 2005). La fabrication de yaourt brassé peut être réalisée soit à partir du lait entier, soit à partir du lait partiellement ou totalement écrémé (3.5% ; 1.0% ; 0.0%) (Belkadi et Belmaaziz, 2015), elle comprend quatre grandes étapes : la préparation du lait cru, la fermentation, aromatisation et emballage, stockage et livraison (Lütke et *al.*, 2005).

2.5.1. Les matières premières utilisant pour la production du yaourt brassé

2.5.1.1. Le lait cru

La principale matière première pour la fabrication du yaourt est le lait. Définie Selon le Congrès international de la répression des fraudes en 1909, comme le produit intégral de la traite totale sans aucune addition ou soustraction d'élément (Dillon, 2005). Interrompue d'une femelle laitière bien portante, bien nourrie et non surmenée. Il doit être recueilli proprement et ne pas contenir de colostrum (Snappe et *al.*, 2010).

Les différents laits crus utilisés dans la fabrication du yaourt sont ; Lait pasteurisé, congelé, écrémé, concentré, en poudre, crèmes, babeurre ... leur usage, leur réglementation sont assez variables d'un pays à l'autre (Luquet et corrieu, 2008).

Il est constitué une source importante en acides aminés, l'eau et de matière sèche, contenant aussi des glucides représentés par le lactose, des lipides et des sels minéraux (Amellal-Chibane, 2008 ; Tamime et Robinson, 1985).

Parmi ces principaux constituants protéiques sont les caséines (82%), la β -lactoglobuline est la protéine sérique la plus abondante (45%) (Tamime et *al.*, 1985), vitamines du groupe A et B ainsi qu'en calcium alimentaire avec une valeur énergétique de l'ordre de 700 Kcal/l (Boubchir, 2011).

Tableau 03 : Composition quantitative moyenne du lait de vache (%) (Vingola ,2002).

constituants	Limite de variation (%)	Valeur moyenne
Eau	85.5 - 89.5	87.5
Matière grasse	2.5 - 6.0	3.9
Protéines	2.9 - 5.0	3.4
Lactose	3.5 - 5.5	4.8
minéraux	0.6 - 0.9	0.8
Constituants mineurs	Vitamines, enzymes et gaz	/

2.5.1.2. La poudre du lait

Pour augmenter la viscosité apparente et la consistance des yaourts on utilise les poudres du lait (Vanmarle, 1998. Schkoda et *al.*, 2001), qui sont définies par le codex alimentarius standard 207-1999 comme « produits laitiers qui peuvent être obtenus par l'enlèvement partiel de l'eau du lait ». On repartit les poudres du lait en trois catégories : la poudre du lait entier, la poudre du lait partiellement écrémé et la poudre du lait écrémé. Le tableau 04 montre la composition de la poudre du lait (Pouliot et *al.*, 2002).

Il y a trois catégories de poudre de lait (entier, écrémé, partiellement écrémé) (Pouliot et *al.*, 2002). qui sont utilisées pour augmenter la viscosité et la consistance de yaourt ou comme une matière première (Vanmarle, 1998. Schkoda et *al.*, 2001). Le tableau 04 montre la composition nutritionnelle de poudre du lait suivant leur type.

Tableau 04 : La composition nutritionnelle des laits en poudre varie suivant leurs types (Ndiaye, 2002).

Nature du lait	Lipides %	Protéines %
Lait entier	26	23
Lait partiellement écrémé	9.5	29
Lait écrémé	1	36

Les protéines ont un rôle déterminant sur la texture et la matière grasse sur les caractéristiques organoleptiques (saveur, arômes). Les protéines et la matière grasse contribuent également à masquer l'acidité du yaourt (Mahaut *et al.*, 2000).

2.5.1.3. Les bactéries caractéristiques du yaourt

Pour bénéficier de l'appellation yaourt issus de la fermentation contrôlée du lait sous l'action d'une ou de plusieurs populations bactérienne spécifique qui permettant de sa conservation, sa stabilisation microbiologique en lui conférant une texture et des propriétés organoleptiques et/ou nutritionnelles particulières (Beal *et al.*, 1998). Parmi ces populations bactériennes la réglementation en France impose la seule présence des deux bactéries lactiques thermophiles *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus Bulgaricus* (Beal et Sodini, 2003), dont la principale fonction métabolique est de produire de l'acide lactique à partir de la fermentation des sucres (Badis *et al.*, 2005).

✓ *Lactobacillus bulgaricus*

Sont des bacilles Gram positif, immobiles, sporulées, micro-aérophile. Ils sont isolés sous forme de bâtonnets ou de chainettes exigeante en Calcium et en Magnésium et sa température optimale de croissance d'environ de 42°C (Affer, 2013). Cette bactérie a un rôle essentiel dans le développement de qualité organoleptique (goût, arôme) et hygiénique du yaourt, ces caractéristiques sont dues à un métabolisme strictement fermentaire avec une production exclusive de l'acide lactique (Marty-Teyssset *et al.*, 2000). La figure 01 montre l'aspect des cellules de *lactobacillus bulgaricus* sous microscope électronique.



Figure 01 : Aspect des cellules de *Lactobacillus bulgaricus* sous microscope électronique

(Corrieu et Luquet, 2008).

✓ ***Streptococcus thermophilus***

La *streptococcus thermophilus* est une cocci Gram positif, anaérobie facultative, non mobile, disposé en courtes chaînes ou par paires. Sa température optimale de croissance de 40-50°C (Uriot et *al.*, 2017). Le rôle majoritaire de *streptococcus thermophilus* est la fermentation du lactose du lait en acide lactique et en plus de son pouvoir acidifiant, elle est responsable de la texture dans les laits fermentés par l'augmentation de la viscosité du lait (Bergamaier, 2002). La figure 02 montre l'aspect des cellules de *streptococcus thermophilus* sous microscope électronique.

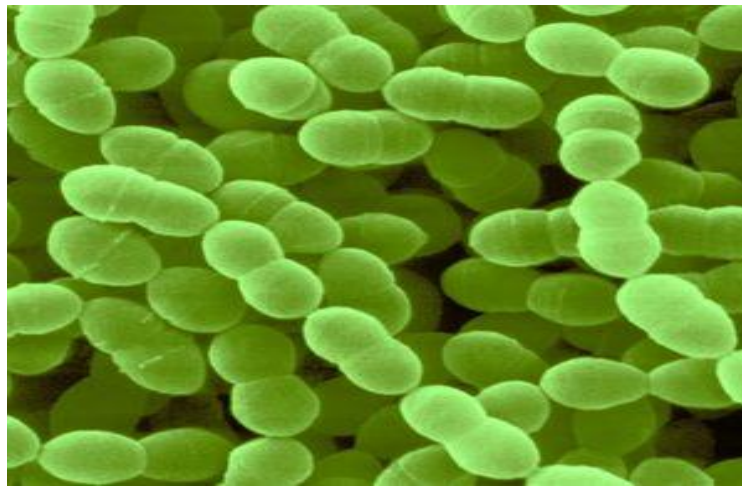


Figure 02 : Aspect des cellules de *Streptococcus thermophilus* sous microscope électronique (Durso et Huktins, 2003).

2.5.1.4. Aptitudes technologiques des bactéries lactiques du yaourt

La sélection des souches pour la fabrication d'un yaourt à caractéristiques organoleptiques bien définies doit répondre aux critères suivants (Francois et *al.*, 2005) :

✓ **Productions d'acide lactique**

La production de l'acide lactique est l'une des principales fonctions des bactéries lactiques en technologie laitier correspond à la transformation du lactose du lait en acide lactique organique qui permet de (Beal et *al.*, 2003):

-la conservation et la concentration en intervenant comme coagulant et antibactérien (Kuipers et *al.*, 2000).

- Il aide à déstabiliser les micelles de caséine, ce qui conduit à la formation du gel.
- Il donne au yaourt son goût distinct, comme il contribue à la saveur et l'aromatisation du yaourt. (Tamime et Robinson, 1999; Singh et al., 2006).
- Il intervient comme inhibiteur vis-à-vis des micro-organismes indésirable (Leory et al., 2002). De ce fait, il agit comme conservateur des produits fermentés et comme préventif des infections intestinales (Desmazeaud, 1996 ; Jacobson et al., 1996).

✓ **Production des composants aromatiques :**

Les bactéries lactiques du yaourt produisent des composés aromatiques et volatiles qui participent largement au développement de ses caractéristiques organoleptiques (Chamba et al., 1994). C'est principalement le lactose qui joue un rôle dans la formation de ces composés tels que le diacétyl, l'acétaldéhyde, la cétone et la cétoine (Lamontagne et al., 2002 ; Sodini et Beal, 2012), qui sont produites par les deux bactéries *Lb. Bulgaricus* et *St thermophilus* (Chaves et al., 2002) , participent au développement de la flaveur et de l'arôme du yaourt, en plus du goût acidulé dû à la production de l'acide lactique (FAO, 1995).

✓ **Production d'agents texturants**

La texture et l'onctuosité constituant pour le consommateur d'importants éléments d'appréciation de la qualité du yaourt. Les bactéries lactiques tels que la *Streptococcus thermophilus* produisent des polysaccharides à partir du glucose qui jouent le rôle d'agents de ces caractéristiques, par la formation des filaments, limitent l'altération du gel par les traitements mécaniques (Ghalem, 2014). Donnent des caractères rhéologiques particuliers portant notamment la viscosité du produit fini (Beal et Sodini, 2003; Jeantet et al., 2007).

✓ **Activité protéolytique**

Les bactéries du yaourt grâce à leur système protéolytique qui est constitué de protéases et des peptidases, dégradent la fraction protéique du lait afin de satisfaire leurs besoins en acides aminés (Leveau et Bouix, 1993). Qui sont d'importants substrats d'une grande variété de réactions cataboliques produisant des composés volatils essentiels à la flaveur, la texture et à la saveur (Mc Sweeney et Sousa, 2000). La figure 3 montre les caractéristiques du ferment lactique sur le yaourt.



Figure 03 : les caractéristiques du ferment lactique sur le yaourt (Mohammadi et *al* ,2012).

2.5.2. Les étapes de fabrication du yaourt brassé

Le diagramme général de la production de yaourt brassé (figure 4) présente les étapes de la fabrication qui sont détaillées aux paragraphes suivants :

2.5.2.1. Préparation du lait

C'est l'étape préliminaire de fabrication du yaourt, à la réception du lait cru à la laitière, soit du lait frais, soit du lait reconstitué ou encore un mélange (Carole, 2000). Dans tous les cas, il doit être de bonnes qualités microbiologiques, exempte d'antibiotiques ou d'autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisée (FAO, 1995).

2.5.2.2. Standardisation

La standardisation du lait mis en œuvre pour la fabrication des yaourts permet d'atteindre les exigences normatives et qualitatives du produit fini (Jeantet et *al.*, 2007). le mélange (base laitière) est standardisé en matière grasse, en protéines sériques, éventuellement sucré et enfin homogénéisé (ajustement du taux de matières grasses, enrichissement en matière sèche sous forme du lait en poudre) (Pelletier et *al.*, 2007).

2.5.2.3. Homogénéisation

C'est un traitement physique qui se déroule dans l'homogénéisateur par le passage du lait à travers les orifices étroits sous une pression de 180 Bars à une température de 81°C (Gosta, 1995). Les grains de poudre, les agrégats de micelles de caséines, sont rompus, les globules gras sont pulvérisés sous forte pression afin d'éviter la remontée des matières grasses en surface, si son but de rend le lait homogène (Malonga, 1985). Améliore sa consistance, accroît sa blancheur. Il donne au lait une saveur et une texture plus douce, plus onctueuse et plus digeste pour la même teneur en matière grasse (Eck, 1997).

2.5.2.4. Traitement thermique

Après homogénéisation, le lait enrichi subira ensuite un traitement thermique, le barème de traitement thermique le plus couramment utilisé est de 90-95°C pendant 3 à 5 minutes (Bourlioux et *al.*, 2011). Ce traitement a pour but :

- ✓ de détruire les germes pathogènes et indésirables et inactifs des inhibiteurs de croissance (bactéries, levures et moisissures) (Pacikora, 2004).
- ✓ de créer des conditions favorables au développement de la flore lactique spécifique par formation d'acide formique qui est un facteur de croissance (Mahaut et *al.*, 2000).
- ✓ L'amélioration de la texture du yaourt par la dénaturation de plus de 85% des protéines solubles ce qui augmentera la capacité de rétention d'eau par le yaourt et permettra à ces protéines de se fixer ainsi sur les molécules de caséines (par l'association de la caséine κ et de la β -lactoglobuline via un pont disulfure) (De Roissart et Luquet, 1994). Ce double événement modifie les propriétés rhéologiques en passant d'un liquide vers un gel à destruction non réversible (Bourlioux et *al.*, 2011).

2.5.2.5. Fermentation

Le mélange préparé estensemencé exclusivement avec deux bactéries lactiques du yaourt : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, qui sont inoculés à 2 à 5% dans le mélange laitier afin d'atteindre une population initiale de l'ordre de 10⁷ UFC/ml, sous forme lyophilisée et simultanément, pour assurer une bonne acidification (Boudier, 1990 ; Mahaut et *al.*, 2000).

Au niveau des Tanks de maturation brassé, L'incubation réalisée à une température entre 42 et 50 °C pendant 5 à 6 h (Hermier et *al.*, 1996 ; Brule, 1997). L'objectif de cette phase est d'atteindre une acidité par la transformation de lactose naturellement présent dans le lait et qui est considéré comme le substrat que les bactéries lactiques utilisent comme nutriment principal, en acide lactique. L'acidité atteint de 70-80 °D dans le cas des yaourts étuvés et de 100-120 °D dans le cas des yaourts brassés (Mahaut et *al.*, 2000).

2.5.2.6. Brassage

Après maturation de produit au niveau de TMB, ce dernier subi un d'écaillage par agitation pendant 15 min à l'aide d'un agitateur à une vitesse bien déterminée afin d'assurer une répartition homogène des ferments (Luquet, 1985). Le brassage se réalise avant le refroidissement, il permet de rendre le caillé plus onctueux par la destruction du gel (Mahaut et *al.*, 2000).

2.5.2.7. Refroidissement

Le refroidissement est une étape critique de la production du yaourt. Il est appliqué quand le caillé a atteint l'acidité désirée. Son but est de limiter l'activité des levains le plus rapidement possible afin d'éviter une sur-acidification. La température de refroidissement se situe, en général, entre 3°C et 7°C (Malonga, 1985).

2.5.2.8. Conditionnement

Les yaourts conditionnés dans des pots en verre ou en plastique sont stockés en chambres froides à 4°C en passant tout d'abord dans des tunnels de refroidissement (Luquet et Corrieu, 2005 ; Paci Kora, 2004).

A la fin du conditionnement, le produit est transféré vers la cellule rapide où il va être conservé pendant 2h à 0-3°C afin d'arrêter l'activité des ferments et renforcer sa consistance et sa viscosité (Gosta, 1995).

2.5.2.9. Stockage et commercialisation

Une fois le produit refroidi, il va être transféré à la chambre froide où il va être stocké à une température de 4-6°C en attendant les résultats d'analyses physicochimiques et microbiologiques pour sa commercialisation (Mahaut et *al.*, 2000).

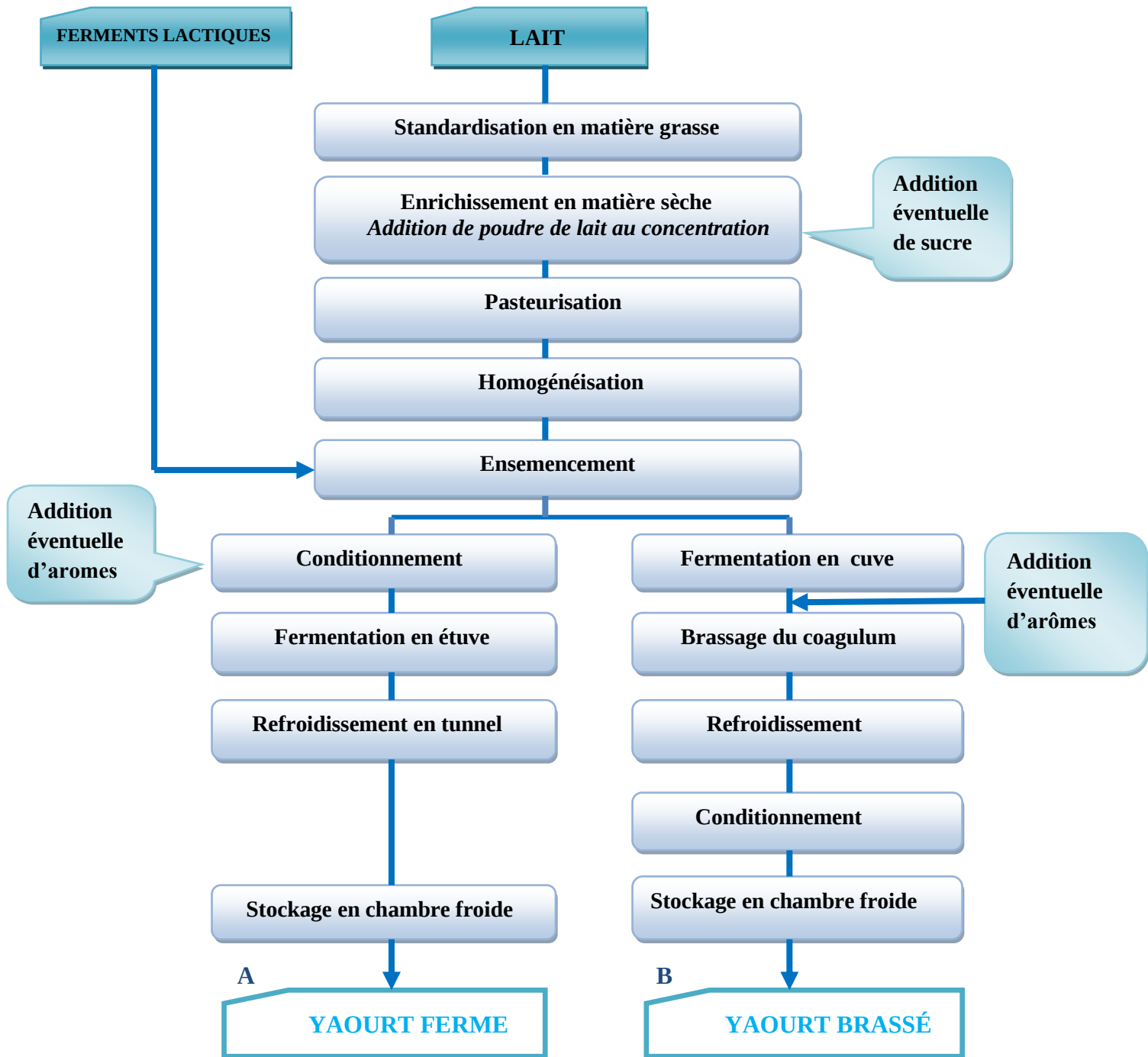


Figure 04 : Diagramme général de fabrication du yaourt (Bourlioux et *al.*, 2011).

2.6. Caractérisations du produit fini

2.6.1. Compositions du yaourt

La composition nutritionnelle moyenne d'un yaourt est de 80-90% d'eau , de 2,8 à 4.3 g/100g de protéines , de 0 à 3.5 g/100g de lipides, l'apport en calcium est de 110 à 170 mg pour 100g et de 4 à 18 g/100g de glucides, notamment que la teneur en glucides est augmentée dans les yaourts sucrés , aromatisés ou aux fruits ,Concernant les vitamines présentant dans les yaourts en quantité intéressantes , sont les vitamines du groupe B, provenant du lait utilisé et de ferments lactiques , tandis que les vitamines A et D ne sont présentes que dans les produits issus de lait entier (Tome, 2002).

2.6.2. Composition biochimique du yaourt brassé

Le tableau ci-dessous montre une compositions du yaourt brassé nature et aux fruits.

Tableau 05 : Composition biochimique moyenne de 100g du yaourt brassé

(Jeantet et *al* .,2008).

	Teneur moyenne pour 100g de produit						
Yaourt	Protéines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Calcium (mg)	Sodium (mg)	Potassium (mg)	Phosphore (mg)
Brassé Nature	4.3	1.8	5.2	165	40	205	115
Brassé aux fruits	3.75	1.65	14.5	140	50	190	110

2.6.3. Qualité du yaourt

2.6.3.1. Propriétés nutritionnelle

Au cours de la fermentation, la composition du lait subit un certain nombre de modifications. Certaines de ces modifications font du yaourt un produit de meilleure valeur nutritionnelle (Pernoud et *al*, 2005). Tout en procurant un réel plaisir gustatif, il présente de nombreux d'avantages et bienfaits nutritionnelles parmi eux (Béal et Sodini, 2003) :

- ✓ Il permet une meilleure assimilation du lactose.
- ✓ Ce produit stimule le système immunitaire.
- ✓ Le yaourt améliore la digestibilité des protéines (Loones ,1994).
- ✓ La biodisponibilité en sels minéraux.
- ✓ Il possède une activité antimicrobienne (De Roissart et Luquet, 1994).
- ✓ Il a une action préventive contre les cancers de la sphère digestive (Jeantet et *al.*, 2008).
- ✓ Le yaourt présente une action hypocholestérolémiant (Mahaut et *al*, 2008).
- ✓ La plupart des souches *lactobacillus* contenues dans le yaourt sont capables d'élaborer des substances ayant un pouvoir antibiotique.
- ✓ Le yaourt a un effet sur les troubles fonctionnels intestinaux (Syndifrais,2011).

2.6.3.2 .Qualité physico-chimique

Le yaourt doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- couleur franche et uniforme.
- goût franc et parfum caractéristique.
- texture homogène (pour le yaourt brassé) et ferme (yaourt étuvé) (Paci Kora, 2004).

2.6.3.3. Qualité organoleptique

- **L'analyse sensorielle**

L'analyse sensorielle demeure aujourd'hui une approche indispensable pour l'évaluation de la qualité d'un produit alimentaire. Elle représente l'ensemble des méthodes, des outils et des instruments qui permettent d'évaluer les qualités organoleptiques d'un

produit (Lefebvre et Bassereau, 2003), étroitement associée à la caractérisation des propriétés physico-chimiques qui permet également d'expliquer les préférences des consommateurs

L'objectif est de faire l'état de l'art des qualités organoleptiques des yaourts et des méthodes sensorielles qui permettent d'étudier :

✓ **La fermeté**

Le maintien d'une texture et d'une dureté uniformes au cours de la fabrication et pendant toute la période de conservation est le principal objectif dans la production du yaourt. La fermeté du yaourt n'est probablement pas affectée au cours de la conservation (Shakeel Hanif et *al.*, 2012).

✓ **La Texture**

La texture est définie comme l'ensemble des : propriétés mécaniques qui sont liés à la réaction du produit à une contrainte (viscosité, dureté, cohésion, élasticité et adhérence), géométriques qui sont liés aux dimensions, à la forme et à l'arrangement des particules dans un produit, et de surface d'un produit, perceptibles par les mécanorécepteurs, les récepteurs tactiles et éventuellement les récepteurs visuels et auditifs (ISO 11036, 1994). La texture en bouche des yaourts est caractérisée le plus fréquemment par le caractère épais, nappant (Paci Kora, 2004).

La variation de la texture entre les différents yaourts, est attribuée au type du lait utilisé et à sa différence compositionnelle. En effet, un taux élevé de matière sèche augmente la fermeté du gel et réduit le degré de la synérèse (Shakeel et *al.*, 2012).

✓ **Arôme et odeur**

L'odeur et l'arôme sont perceptibles par l'organe olfactif, l'odeur en «flairant» certaines substances volatiles, l'arôme par voie retro-nasale lors de la dégustation (norme 1S05492, 1992). Dans un produit alimentaire, de nombreux composés d'arôme sont présents, mais pour qu'ils participent à l'arôme du produit, il faut que leur qualité soit supérieure à leur seuil de perception. Ce seuil est défini comme la qualité la plus basse du stimulus qui peut être perçue et varie beaucoup d'un individu à l'autre (Lawless et *al.*, 1994).

✓ **Le Gout**

La saveur d'un yaourt correspond à la sensation perçue par l'organe gustatif (langue), lorsqu'il est stimulé par des composés volatils par fermentation et /ou dégradation thermique de certains constituants du lait (Sahan et *al.*, 2008). Le yaourt est caractérisé par une saveur d'acidité due à la présence d'acide lactique produit à partir du lactose par les bactéries lactiques au cours de la fermentation (Marshall, 1987). D'autres saveurs moins intenses, tels que les saveurs sucrées et amères, sont aussi présentes dans le yaourt (Paci Kora, 2004).

2.6.3.4. Qualité hygiénique

Selon la norme nationale de 1998, N°35 parue au Journal Officiel, les yaourts ne doivent contenir aucun germe pathogène. Le traitement thermique appliqué sur le lait avant fabrication du yaourt est suffisant pour détruire les micro-organismes non sporulés pathogènes ou non, leur présence dans le yaourt ne peut être que de manière accidentelle, comme pour la plupart des autres germes indésirables. Les levures et les moisissures peuvent se développer dans le yaourt, ces dernières proviennent principalement de l'air ambiant dont la contamination se situe au stade du conditionnement (Larpent et Bourgeois, 1989).

Chapitre II : Matériel et Méthodes

Notre travail a été réalisé au niveau du laboratoire de microbiologie, département de l'Agronomie, université Amar telidji - Laghouat, dans le but d'évaluer les propriétés organoleptiques de 12 échantillons du yaourt type brassé conditionné en pots pour connaître l'effet des paramètres technologique sur ses qualités pendant une période de 10 jours de 18/05/2021 à 29/05/2021.

1. Matériel

Le matériel suivant est acheté du centre commercial AMIRA au niveau de la wilaya de Laghouat (sud d'Algérie) en Mai 2021.

1.1. Le lait

Deux types du lait sont utilisés pour la préparation du yaourt sont le lait de vache et le lait reconstitué, présentés dans la figure 05.



Figure 05: Photographie originale représente les deux types du lait utilisés dans la fabrication du yaourt brassé.

1.2. La poudre du lait

La poudre du lait utilisée est celle distribuée par l'E.N.A.P.A.L dénommé « Loya ». Poudre du lait sec entier instantané, destiné à la consommation humaine (figure 06).

Cette poudre est emballé dans des sacs en papier doublé intérieurement d'Aluminium étanché, la contenance d'un sac est généralement de 500g ou 1000g.



Figure 06 : Photographie originale représente la poudre de lait utilisé pour la fabrication du yaourt brassé.

1.3. Le sucre

Dans notre étude nous avons utilisé le sucre cristallisé blanc dénommé « SKOR la marque Cevital » conditionné dans des sacs e 1Kg .La figure 07 montre le sucre utilisé dans notre étude.

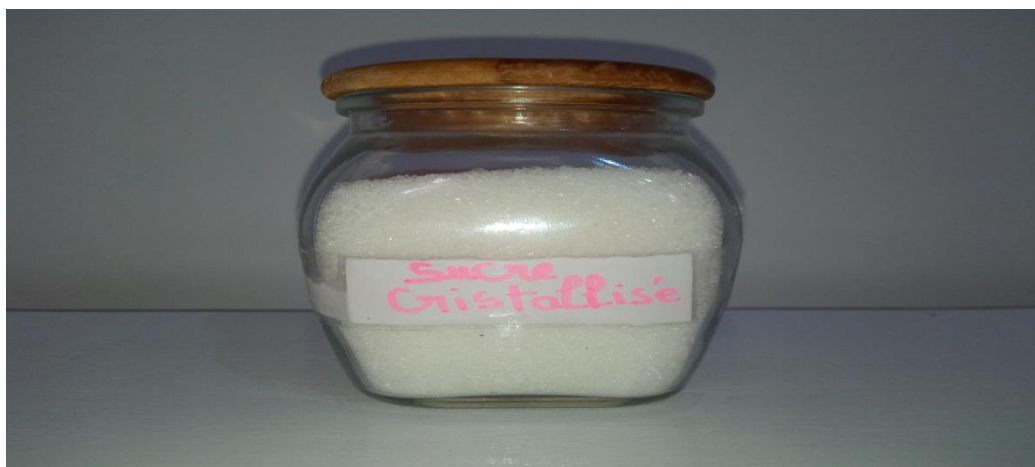


Figure 07 : Photographie originale représente le sucre utilisé pour la fabrication du yaourt brassé.

1.4. Les additifs

Les additifs alimentaires utilisés dans notre étude sont :

- Colorant alimentaire liquide (couleur orange) ; code : E110
- Arôme liquide (saveur d'abricot) ; code : PA-30



Figure 08 : Photographie originale montre les additifs utilisés dans notre étude ; (1) : Arôme, (2) : Colorant.

1.5. Les ferments lactiques

Nous avons utilisé 2 types des ferments lactiques (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*) issus du yaourt nature (figure 09).

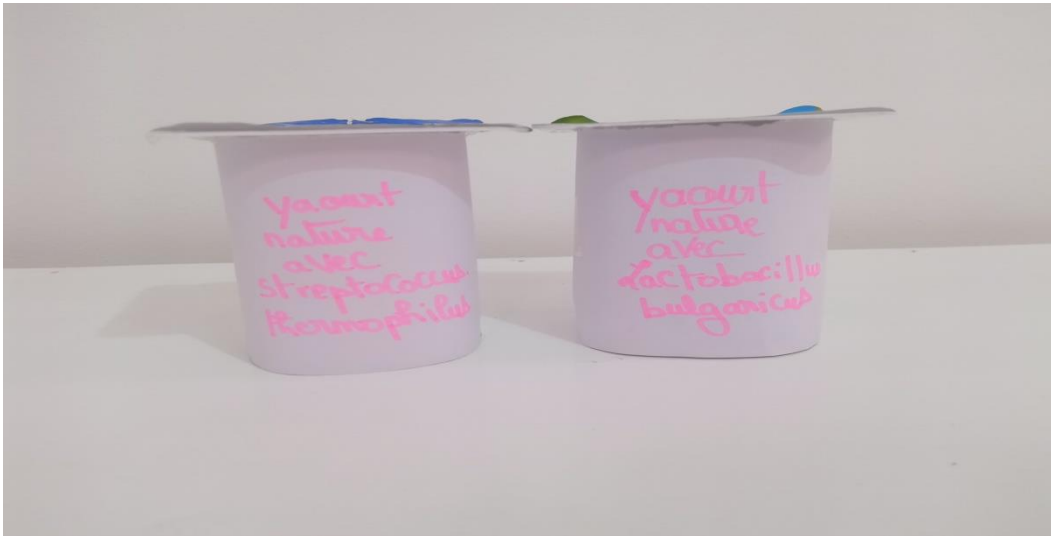


Figure 09 : Photographie originale montre les 2 types des ferments lactiques issus du yaourt nature utilisés dans notre préparation du yaourt brassé.

1.6. Appareillage

- ✓ Balances
- ✓ Etuve électrique
- ✓ Plaque chauffante
- ✓ Un mixeur

1.7. Verrerie et autres

- ✓ Micro pipette
- ✓ Bécher (1L)
- ✓ 12 récipients en verre vide

2. La fabrication du yaourt brassé

La préparation du yaourt brassé est réalisée à l'échelle du laboratoire en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt standard. La méthode de fabrication du yaourt brassé est illustrée par la figure 10.

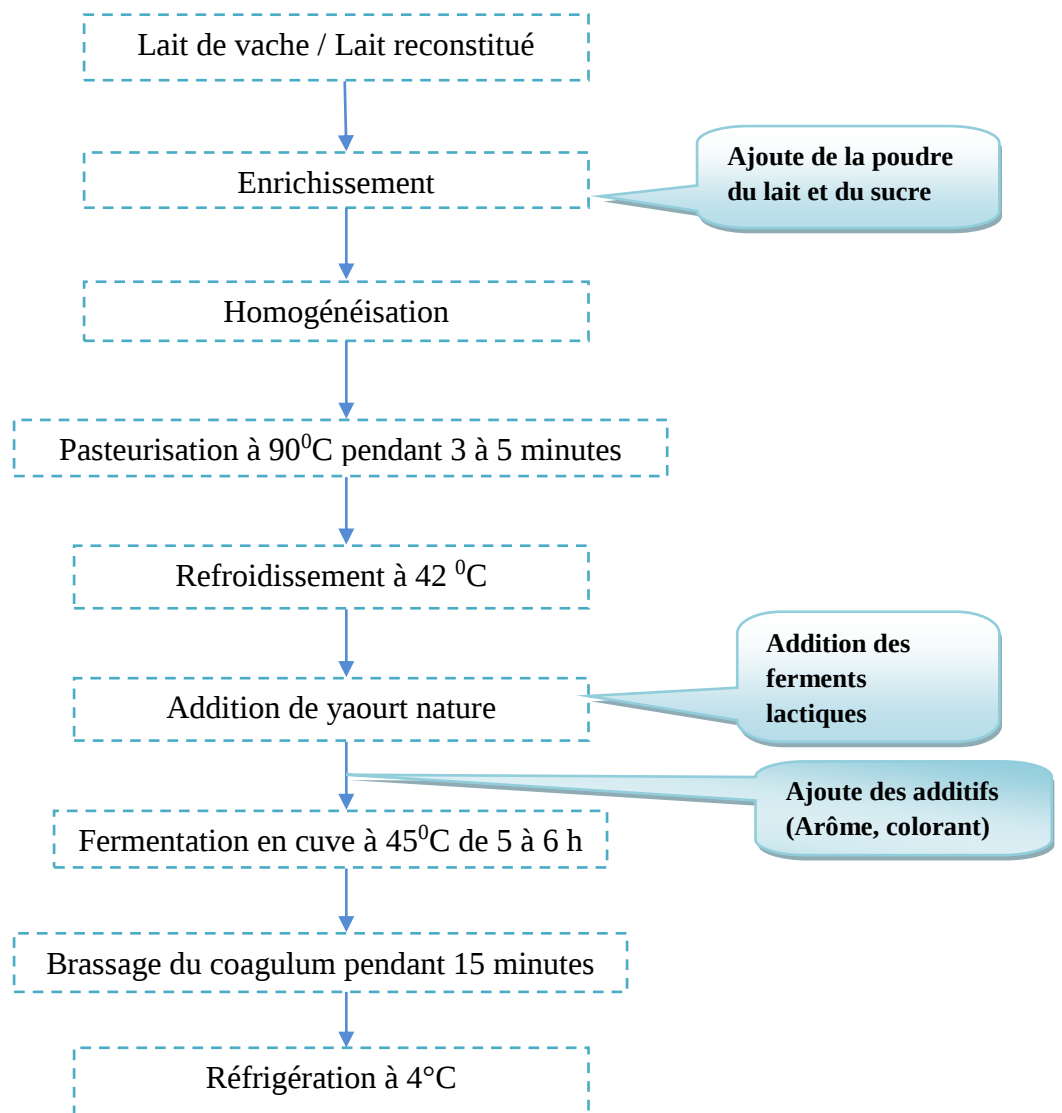


Figure 10 : Diagramme de fabrication du yaourt brassé au laboratoire.

2.1. Formulation et enrichissement du lait

On met environ $\frac{1}{2}$ litre du lait (de vache / reconstitué) dans un bécher, puis on y enrichi avec la poudre du lait et le sucre.

2.2. Homogénéisation et pasteurisation

On chauffe le mélange dans la plaque chauffante avec agitation à l'aide de la spatule à 90°C durant 5 minutes jusqu'à l'ébullition (figure 11). Le but de ce traitement thermique est

de détruire presque la totalité des germes pathogènes et le maximum de la flore indigène du lait.



Figure 11 : Photographie originale représente la pasteurisation du lait à l'aide d'une plaque chauffante.

2.3. Refroidissement et ensemencement

Une fois le mélange est homogène, il est refroidi à 42 °C, température à laquelle les enzymes présents dans le ferment lactique effectueront au mieux leur tâche.

Après plusieurs essais pour l'optimisation de la formule de notre yaourt, nous avons opté que ½ L de lait estensemencé avec 100 g de ferment lactique « *lactobacillus bulgaricus* et *streptococcus thermophilus* » issus de yaourt nature (1 pot de yaourt nature), On mélange bien le mixte.

2.4. Fermentation en étuve

Une fois le lait estensemencé, on ajoute l'arôme et le colorant et bien mixé, le mélange est mis en les récipients (en verre), les pots bien fermés sont placées dans l'étuve de 45°C où la fermentation s'opère (figure 12), c'est par l'observation du coagulum que l'on vérifie son degré. Généralement la fermentation est réalisée après 5-6 heures.



Figure 12 : Photographie originale représente la fermentation des yaourts fabriqués dans l'étuve.

2.5. Le brassage

Le brassage du coagulum est réalisé à l'aide d'un mixeur pendant 15 minutes jusqu'à ce que nous obtenions un yaourt de structure homogène et crémeuse, La rupture du coagulum est une phase très importante du point de vue technologique pour d'obtenir un produit sans grumeaux et sans séparation de sérum.



Figure 13 : Photographie originale représente le brassage du coagulum à l'aide d'un mixeur.

2.6. Réfrigération

Les pots sont soumis à un refroidissement à une température de 4°C dans le réfrigérateur. Ce stockage à froid a pour but d'arrêter la fermentation et de raffermir le caillé.

3. Composition des différents essais

Le tableau 06 résume les différents essais réalisés, pour la préparation des 12 types du yaourt brassé.

Tableau 06 : Composition des différents essais des 12 yaourts.

Essais	Sucre (g)	Arôme (ml)	Colorant (mg)	Ferment lactique (1pot du yaourt nature)	Lait de vache /lait de poudre (½ L)	Poudre de lait (g)
Essai 1	5	0.5	0	<i>S.thermophilus</i>	lait de poudre	30
Essai 2	10	0.5	0.3	<i>S.thermophilus</i>	lait de vache	30
Essai 3	5	0	0.3	<i>L.bulgaricus</i>	lait de vache	0
Essai 4	10	0	0.3	<i>L.bulgaricus</i>	lait de poudre	30
Essai 5	10	0	0	<i>S.thermophilus</i>	lait de vache	30
Essai 6	10	0.5	0	<i>L.bulgaricus</i>	lait de poudre	0
Essai 7	5	0.5	0.3	<i>S.thermophilus</i>	lait de vache	0
Essai 8	5	0.5	0.3	<i>L.bulgaricus</i>	lait de poudre	30
Essai 9	10	0.5	0	<i>L.bulgaricus</i>	lait de vache	0
Essai 10	5	0	0	<i>L.bulgaricus</i>	lait de vache	30
Essai 11	10	0	0.3	<i>S.thermophilus</i>	lait de poudre	0
Essai 12	5	0	0	<i>S.thermophilus</i>	lait de poudre	0

S.thermophilus : *streptococcus thermophilus* ; *L.bulgaricus* : *lactobacillus bulgaricus*.

4. Optimisation de la fabrication du yaourt brassé

Dans ce travail, un design expérimentale établi d'après la matrice de Plackett-Burman à (N=12) avec 12 expériences et 6 facteurs (Plackett- Burman, 1946 ; Radouane et al., 2008) , est utilisé afin d'évaluer la significativité de six variables regroupées en paramètres de formulation (sucre ,arôme ,colorant ,flore lactique ,origine et concentration).

Chaque paramètre a été testé à deux niveaux codés comme (-1) pour le niveau minimal et (+1) pour le niveau maximal, tel qu'il est représenté dans le tableau 07.

Pour optimiser la production du yaourt brassé, une matrice expérimentale de Plackett-Burman est établie dans le tableau 08.

Tableau 07 : Facteurs et niveaux utilisés dans la matrice de conception Plackett-Burman pour l'obtention du yaourt brassé.

facteurs	Niveaux	
	minimal (-1)	maximal (+1)
Sucre	5 g	10 g
Arôme	0 ml	0.5 ml
Colorant	0 mg	0.3 mg
FL	<i>S.thermophilus</i>	<i>L.bulgaricus</i>
Origine	lait de poudre	lait de vache
concentration	0 g	30 g

FL : Ferment lactique.

Tableau 08 : Matrice expérimentale de Plackett - burman avec 12 expériences et 6 facteurs pour l'optimisation de la fabrication de yaourt brassé.

Blocs	Facteurs					
	sucré	arôme	colorant	FL	origine	concentration
1	-	+	-	-	-	+
2	+	+	+	-	+	+
3	-	-	+	+	+	-
4	+	-	+	+	-	+
5	+	-	-	-	+	+
6	+	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	+	-
8	-	+	+	+	-	+
9	+	+	-	+	+	-
10	-	-	-	+	+	+
11	+	-	+	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-

+1: Niveau maximal ; -1: Niveau minimal

5. Analyses sensorielles

L'évaluation sensorielle est une méthodologie d'analyse qui permet de définir, mesurer, analyser et interpréter des caractéristiques d'un produit perçues par l'intermédiaire des organes des sens, c'est-à-dire des propriétés gustatives, olfactives, visuelles, auditives et tactiles et ne nécessite pas de matériel sophistiqué (Mac Leod ,1986 ; Claustrioux ,2001). Considérer l'analyse sensorielle comme simple méthode de mesure serait également assez réducteur, car c'est avant tout un outil de conception, elle représente un moyen privilégié de contrôler la qualité d'un produit, c'est une aide précieuse dans la démarche de développement et de conception de nouveaux produits (Bauer et *al.*, 2010).

Lors de cette mesure, le travail est focalisé sur l'impact des différents paramètres technologiques, à savoir l'origine du lait, les additifs (colorants, arômes), le sucre, les ferment lactique, et la concentration (poudre du lait) sur la qualité organoleptique du yaourt brassé.

Pour cela, nous avons eu recours à l'analyse descriptive qui est un outil de choix pour différencier les lots de yaourt fabriqué qualitativement et quantitativement, l'analyse Sensorielle nécessite les éléments suivants :

5.1. Le sujet

Le panel de dégustation était constitué de 10 sujets, membres du personnel du laboratoire et de l'entourage familial, Quatre d'entre eux avaient déjà participé à des tests sensoriels sur différents produits dont des produits laitiers de l'âge de 18 à 55 ans.

D'après (Nicod ,1998), Ces sujets sont préalablement sélectionnés selon les critères suivants :

- ✓ Ils doivent être disponibles, volontaires et motivés pour participer l'étude ainsi que leur expérience dans l'évaluation sensorielle.
- ✓ Ils ne doivent présenter aucune aversion vis-à-vis du produit à étudier.
- ✓ Les sujets malades ne sont pas concernés.
- ✓ Ils doivent avoir une bonne vision des couleurs.
- ✓ Ils ne doivent pas fumer au moins deux heures avant le test.
- ✓ L'honnêteté des dégustateurs est un critère important.

5.2. Le produit

Au moment de dégustation chaque membre avait en face de lui 12 échantillons du yaourt brassé enlevés du réfrigérateur 1 h avant le début de session d'évaluation à une température de 8 à 10 °C.

Chaque yaourt est présenté dans un pot en verre de 40 g et étiqueté avec un code de 2 chiffres. L'ordre de présentation des échantillons est randomisé (figure 14).

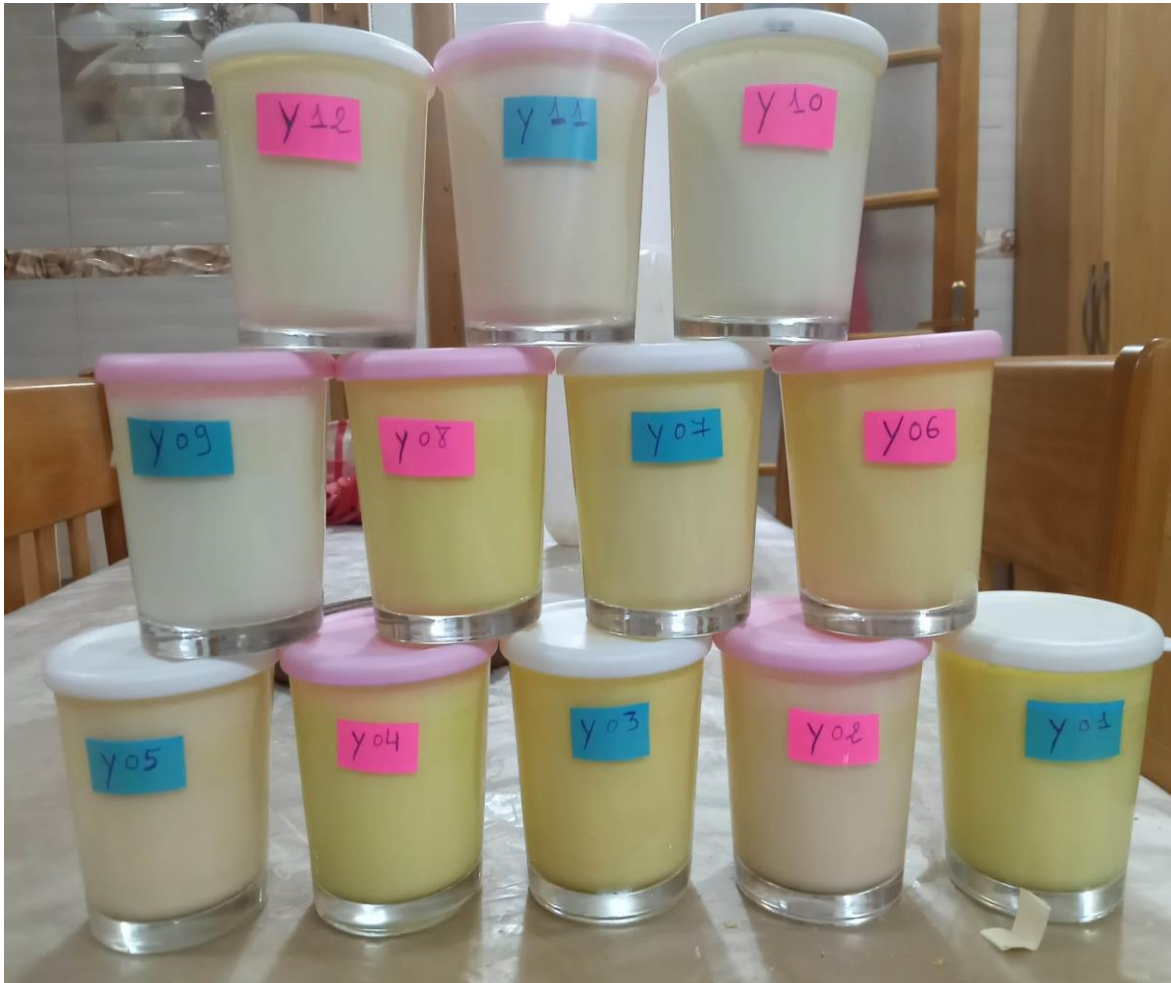


Figure14 : Photographie originale représente les 12 échantillons du yaourt brassé fabriqués.

5.3. La fiche de l'évaluation sensorielle des produits du yaourt

Les panels sont invités à noter les douze produits codés sur une fiche d'évaluation sensorielle pour évaluer un ensemble de termes décrivant les différents attributs sensoriels des yaourts. Les paramètres ciblés sont les suivants : la couleur, l'odeur, le goût sucré, la texture, l'arôme et l'acidité. Les membres du panel de dégustation doivent noter chaque critère selon une échelle de notation variant de 0 à 5 selon l'intensité de chaque attribut. La fiche d'évaluations sensorielles est présentée si dessous :

FICHE DE DEGUSTATION

-Le produit : yaourt brassé

-Nombre de dégustateurs: 10

-Nombre du produit : 12

-Caractéristiques analysés : Couleur /Odeur / goût Sucré / Texture / Arôme /Acidité.

-Dégustateur n⁰ :

Facteurs pots	Couleur /5	Odeur /5	Goût sucré /5	Texture /5	Arôme /5	Acidité /5
Yaourt N ⁰ 01						
Yaourt N ⁰ 02						
Yaourt N ⁰ 03						
Yaourt N ⁰ 04						
Yaourt N ⁰ 05						
Yaourt N ⁰ 06						
Yaourt N ⁰ 07						
Yaourt N ⁰ 08						
Yaourt N ⁰ 09						
Yaourt N ⁰ 10						
Yaourt N ⁰ 11						
Yaourt N ⁰ 12						

5.4. Déroulement de séance de l'analyse sensorielle

Les tests sensoriels ont été entamés le jour qui suit la préparation des produits eu lieu dans une salle au niveau de département d'agronomie, de 10H00 à 12H00 où les conditions de mise en place de l'analyse sont respectés dans le cadre de possible, essentiellement l'hygiène de l'endroit, l'éclairage, l'isolation des membres de panel les uns des autres,

présence d'aération, présence de calme, l'anonymat des échantillons, et l'acquisition de matériel nécessaire à l'analyse, à savoir des gobelets d'eau, des cuillères, des crayons, des papiers mouchoirs et des fiches d'évaluation en plus (figure 15).

- ✓ Les dégustateurs se rinceront la bouche au début de la séance et après chaque dégustation pour garder la sensibilité constante.
- ✓ Les dégustateurs changent la cuillère d'un échantillon à l'autre. Afin d'éviter les phénomènes de saturation, des petites quantités de chaque échantillon suffisent pour évaluer les paramètres recherchés.
- ✓ Toutes les épreuves se sont déroulées en notre présence pour donner plus d'explication, ainsi que pour s'assurer du bon déroulement de la séance.



Figure 15 : Photographie originale représente le déroulement de séance des l'analyses sensorielles.

5.5. Traitement des résultats

Les résultats du test sensoriel obtenus, sont illustrés dans des secteurs pour tous les paramètres analysés dans la partie résultats et discussion.

6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques de variance ont été réalisées à l'aide de logiciel Minitab qui est utilisé pour élaborer une conception expérimental visant à améliorer et à définir la signification des facteurs affectant la qualité du yaourt brassé.

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Effet des facteurs variables sur la qualité du yaourt brassé

Il s'agit d'identifier les attributs sensoriels qui discriminent le mieux les produits, ainsi que de déterminer les caractéristiques des produits préparés en fonction des préférences du panel expert.

Dix panélistes ont été sélectionnés pour mener à bien cette évaluation sensorielle des 12 types du yaourt. Les qualités organoleptiques évaluées concernent la couleur, l'odeur, le sucre, la texture, l'arôme et l'acidité, chaque attribut est mesuré selon une échelle d'intensité universelle de 0 à 5. La figure 16 montre l'aspect visuel de quelques exemples des yaourts destinés à l'analyse sensorielle.

La planification expérimentale est une étape fondamentale pour s'assurer que les données collectées sont exploitables dans les meilleures conditions statistiques possibles. Avant d'effectuer les différents tests sur MINITAB, un plan d'expérience a été réalisé. Une fois les données des jurys sont rapportées sur le logiciel, la procédure de génération d'un plan d'expérience est lancée.

L'objectif de ce test est de créer un plan d'expérience optimal dans le cadre d'expériences visant à modéliser les préférences d'un ensemble de consommateurs ou d'experts pour différents produits du yaourt.



Figure 16 : Photographie originale représente quelques exemples du yaourt brassé fabriqué.

1.2. Résultats de l'effet des paramètres technologiques sur la qualité du yaourt

Le plan de Plackett-Burman est un plan de criblage qui permet de déterminer les éléments les plus influents dans un ensemble initial des facteurs ayant une action positive sur la qualité du yaourt brassé, c'est généralement le plus employé dans des études similaires en raison de son économie en termes de nombre d'essais.

Ce procédé compare les variations de la réponse suscitées par deux sources :

- Les variations du facteur étudié.
- Les variations de grandeurs considérées comme n'ayant pas d'effets sur la réponse.

Les résultats de la réponse (dégustation) sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 09 : Plan de Plackett-Burman d'après la matrice d'expérimentation.

Essai	Sucre	Arôme	Colorant	FL	Origine	Concentration	Réponse des dégustateurs/30
1	-	+	-	-	-	+	15.5
2	+	+	+	-	+	+	21.03
3	-	-	+	+	+	-	10.15
4	+	-	+	+	-	+	18
5	+	-	-	-	+	+	17.85
6	+	+	-	+	-	-	16.75
7	-	+	+	-	+	-	12
8	-	+	+	+	-	+	16.1
9	+	+	-	+	+	-	17.95
10	-	-	-	+	+	+	14.2
11	+	-	+	-	-	-	10.8
12	-	-	-	-	-	-	10.26

1.2.1. Analyse statistique des résultats

Le traitement des données expérimentales de nos résultats à été fait au moyen du logiciel Minitab 18.

Les résultats des analyses statistiques des données sont représentés dans le tableau10, pour l'ensemble des variables testées, les facteurs qui ont semblé avoir des effets positifs et significatifs ($P < 0.05$) sont le sucre, L'arôme et la concentration et avec des moyennes carrées égales à 53.467, 30.816, 56.030, respectivement. Tandis que, les autres facteurs (le colorant, la flore lactique et l'origine) ont présenté des effets négatifs sur la qualité du yaourt brassé.

Tableau 10 : Degré de variables indépendantes à effet positif ou négatif sur la qualité du yaourt brassé selon les niveaux du plan d'expérience de Plackett-Burman.

Facteurs	Effet	Coefficient	ES	P	Niveau de signification
Sucre	4.028	2.014	6.48	0.001	S
Arôme	3.012	1.506	4.84	0.005	S
Colorant	-0.738	-0.369	-1.19	0.288	N.S
F.L	0.952	0.476	1.53	0.186	N.S
Origin	0.962	0.481	1.55	0.183	N.S
Concentration	4.128	2.064	6.64	0.001	S

ES : Erreur standard ; N.S : non significatif ; S : significatif.

1.2.2. Représentation graphique des effets**Diagramme de Pareto**

Ce diagramme est un moyen simple (figure 17) permet d'extraire les paramètres les plus importants parmi tous les facteurs étudiés au niveau de confiance choisi ($\alpha = 0,05$), et les classer par ordre d'importance, les barres coupent la ligne de référence P (2.571) qui sépare les facteurs ayant des effets significatives au seuil de $P < 0.05$ sont illustrée par le diagramme, de ceux ont effets non significatives. Les longueurs des barres sont proportionnelles à l'importance des effets des facteurs.

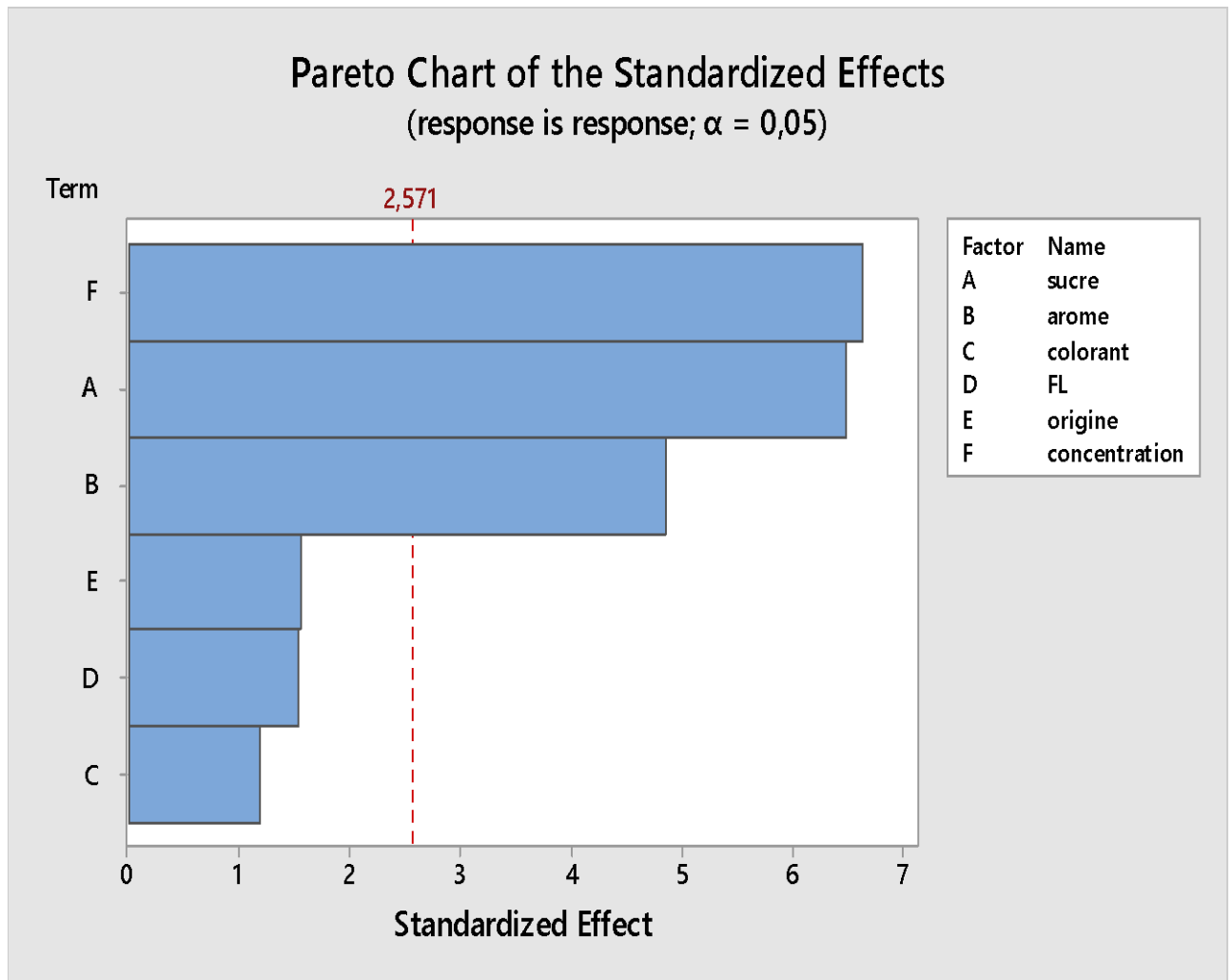


Figure 17 : Diagramme de Pareto montrant l'effet de six facteurs sur la qualité du yaourt brassé.

2. Discussion

Le diagramme de Pareto confirme les résultats représentés dans le tableau n°10 qu'il montre l'influence des facteurs sur la qualité de yaourt brassé. Selon la figure 17, nous avons remarqué que le facteur concentration possède l'impact le plus important sur la qualité du yaourt avec la valeur de P de 0.001 ($P < 0.05$), son effet est significatif et positif et peut être révélé clairement par le tableau 10 avec une valeur de 4.128. Il est suivi de l'effet du sucre et l'arôme qui lui aussi influencent significativement ($P = 0.001$), ($P = 0.005$) et positivement (4.028), (3.012).

Les autres variables (origine, la flore lactique, colorant) ont montré des valeurs de P supérieur à 0.05 et sont alors considérées comme facteurs ayant des effets non significatifs et n'ont pas d'influence sur la qualité au niveau de confiance choisi ($\alpha = 0,05$).

Le signe positif de chacun des facteurs (sucre, arôme, FL, origine, concentration) indique que la valeur maximale de ces facteurs entraîne une réponse plus élevée qu'avec la valeur minimale. Le facteur (colorant) possède une signes négatif ce qui indique que la valeur minimale de ce facteur se traduit par une réponse plus élevée.

la valeur obtenue de coefficient de détermination (R^2) est estimé à 0.9586, ce qui est proche de 1. Ceci indique la capacité du modèle à expliquer 95.86% des variations et suggère une excellente corrélation entre les valeurs observées et prédites. La valeur élevée du R^2 ajusté (90.88%) témoigne de l'efficacité, la significativité 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 égal à 21.03 avec les coordonnées suivantes :

Sucre, 10g ; arôme, 0.5ml ; colorant, 0 g ; flore lactique, *Streptococcus thermophilus* (1 pot du yaourt) ; origine du lait, lait de vache (1/2 L) ; concentration, 30 g.

L'équation de régression obtenue est la suivante :

Yaourt brassé = 15,049 + 2,014 sucre + 1,506 arôme - 0,369 colorant + 0,476 FL + 0,481 origine + 2,064 concentration.

2. Discussion

Les facteurs considérés dans cette étude sont reconnus pour être parmi les plus importants pour déterminer la qualité et les caractéristiques organoleptiques des yaourts. En outre les niveaux choisis pour chaque variable correspondent à ceux utilisés généralement dans le but de produire différents types de yaourt pour satisfaire la demande des consommateurs.

L'utilisation d'un plan Plackett-Burman est une méthode valable pour analyser les effets individuels des variables sélectionnées et d'optimiser les caractéristiques technologiques de production de yaourt afin d'obtenir un produit final avec les caractères désirés, comme cela a été démontré pour d'autres produits alimentaires.

L'optimisation des facteurs pour la fabrication du yaourt brassé 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 l'objet

étudié (Sasirekha et *al.*, 2012). Les valeurs de R^2 , R^2 ajusté confirment l'adéquation du modèle. Un modèle ayant une valeur R^2 proche à 1 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 brassé. Ces derniers sont : la concentration, le sucre et l'arôme.

Le tableau 10, indique que le taux de concentration présente un effet positif hautement significatifs avec une valeur de P de 0.001 ($P < 0.05$) sur la qualité du yaourt. Les résultats de notre étude corroborent également Maghachou (2012), qui a indiqué que le lait en poudre agit positivement sur la production d'acide lactique ainsi que sur l'aspect du yaourt. En effet selon Boubchir-Ladj (2011) la valeur de la viscosité initiale tend à augmenter avec le taux d'enrichissement en poudre de lait, la fortification avec 5% en poudre de lait améliore les propriétés rhéologiques du yaourt (Fox, 2001 ;Tamime et *al.*, 2001).

Boubchir-Ladj (2011) a aussi relevé une augmentation de l'acidité engendrée par l'augmentation du taux d'enrichissement en poudre du lait. Ces variations selon elle sont imputables au développement des bactéries lactique (favorisé par la disponibilité des nutriments) qui acidifient le milieu par la production d'acide lactique.

En outre, Prentice (1992) signale que l'augmentation du taux de protéines est le facteur principal influençant la texture et l'enrichissement du lait. Le lait en poudre agit sur le développement des chaînes et des agrégats des micelles de caséine. La microstructure du lait est fonction de la concentration en matière sèche (Schkoda et *al.*, 1998 ; Van Marle, 1998 ; Tamime et *al.*, 1999). Ce qui confirme les résultats obtenus dans notre étude.

D'après le tableau 10, on remarque que le sucre a un effet significatif avec la valeur de P de 0.001 ($P < 0.05$). Ces résultats confirment ceux de Lesme., (2019) qui montre que le sucre est une molécule polaire, avec de nombreuses fonctions $-OH$, qui a beaucoup d'affinité pour l'eau. Ainsi, en complexant l'eau, le sucre pourrait provoquer une augmentation de la viscosité des yaourts. Ce phénomène est peut-être traduit par l'augmentation de la réponse visqueuse dans les yaourts.

On peut également imaginer que la complexation de l'eau par le sucre influe sur les interactions entre protéines, plus les protéines sont hydrophobes, plus le gel se forme et plus le l'élasticité) est élevé (Morand et *al.*, 2012). Si l'établissement des interactions hydrophobes

entre protéines est limité par l'ajout de sucre, la formation, et donc la force du gel pourraient être impactées, Ceci concorde avec les résultats annoncés par nous.

Le sucre quand à lui un effet négatif sur la production d'acide lactique et sur l'aspect du yaourt, nous supposons que c'est surement dû à la diminution de l'activité de l'eau, ce qui va affecter l'activité métabolique des bactéries et la production d'acide lactique qui va agir sur la texture du yaourt.

Un effet inhibiteur de la croissance des bactéries du yaourt a souvent été signalé en présence d'une haute teneur en sucre dans le lait (10-12%). Elle est due à la fois à un effet négatif osmotique des solutés dans le lait et à une faible activité de l'eau (Tamime et Robinson, 1985). En effet Richardson et *al.*, (1987) ont constaté par RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) une diminution de la mobilité de l'eau avec augmentation de la concentration en sucre .

Selon le tableau 10, on remarque que l'arôme a un effet significatif avec la valeur de P de 0.001 ($P < 0.05$) et un effet de 3.012, c'est en parallèle avec les résultats de Lesme (2019) qui annonce que la nature de l'arôme n'a pas d'impact sur la fermeté des yaourts, sur le déplacement à la rupture, ou sur l'aspect collant des yaourts. L'arôme semble avoir un impact significatif sur la consistance des yaourts .Ce qui confirme les résultats obtenus dans notre étude.

Enfin on peut dire que l'acceptation des aliments par le consommateur est surtout déterminée par le gout et l'arôme, c'est pourquoi on utilise parfois des agents aromatisant dans l'industrie alimentaire. Ces agents sont employés pour donner, renforcer et modifier un arôme, ou encore pour masquer un arôme indésirable (Richard ,1992).

Dans un marché fortement concurrentiel, l'industriel se trouve dans l'obligation de présenter un produit alimentaire salubre et de bonne qualité. Une maîtrise de fabrication avec des différents ingrédients et la mise en place des analyses d'autocontrôle, sont nécessaires afin de garantir une stabilité de la qualité du produit. Parmi ces produits, le yaourt brassé qui est considéré comme de produit le plus consommé en Algérie

L'objectif principal de cette étude visait à développer un modèle statistique capable de relier la qualité du yaourt aux paramètres influençants sur ce dernier.

Une modélisation par le plan Plackett - Burman à été appliqué en vue de cribler les paramètres les plus significatifs sur cette qualité. Six facteurs ont été choisis comme variable : le taux du sucre, l'arôme, Le colorant, La flore lactique ainsi que l'origine du lait et la concentration. Cette modélisation à montré que les facteurs les plus influençant sur la qualité du yaourt brassé sont selon l'ordre décroissant de leur importance : la concentration, Le sucre et l'arôme présentent un effet positif et significatif alors que les autres facteurs présentent un effet négatif sur celle-ci.

L'analyse statistique du modèle témoigne de sa robustesse avec un coefficient de régression proche de 1, ceci montre que le modèle est capable dans les limites du plan d'expérience de donner des prédictions dans d'autres combinaisons de facteur.

En perspective il serait intéressant de valider des résultats obtenus d'un point de vue expérimental et il serait judicieux d'examiner comment prendre en considération lors de futurs travaux de modélisation la contribution des différentes activités technologiques tels que les analyses physico-chimiques, microbiologiques et sensorielles .Il serait aussi intéressant d'étudier l'interaction entre les facteurs significatifs (Concentration, sucre et arôme) par l'utilisation de la méthodologie de réponse en surface (Response surface methodology) (RSM), ceci présente une difficulté non négligeable mais pourrait faire l'objet d'une évaluation globale dont l'intérêt est évident.

- **Affer M., Bouziane.T., (2013).** L'effet de l'incorporation de la farine de pois chiche sur le lait fermenté type yaourt.
- **Afonso I. M., & Maia, J. M., (1999).** Rheological monitoring of structure evolution and development in stirred yoghurt. *Journal of Food Engineering*, 42(4), 183-190.
- **Amellal-Chibane, H., (2008).** Aptitude technologiques de quelques variétés communes de dattes : formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de doctorat en technologies alimentaires. Faculté des sciences de l'ingénieur. Université BOUMERDES. Pp. 164.
- **Anderson E., (1998).** Customer satisfaction and word of mouth. *Journal of service research* 1(1):5-17.
- **Anonyme., (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO: Alimentation et nutrition, 28.
- **Badis, A., Laouabdia-Sellami, N., Guetarni, D., Kihal, M., & Ouzrout, R., (2005).** Caractérisation phénotypique des bactéries lactiques isolées à partir de lait cru de chèvre de deux populations caprines locales "Arabia ET Kabyle". *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 30-37.
- **Baoxin Z, Xiangjing ,W., et Wensheng X., (2011).** Optimization of fermentation medium for enhanced production of milbemycin by a mutant of *Streptomyces bingchenggensis* BC-X1 using response surface methodology. *African Journal of Biotechnology*. 10, 7225-7235.
- **Bauer, W., Badoud, R., Loliger, J., Etaurnau, A., (2010).** Analyse Sensorielle, chap. 11., Science et Technologie des Aliments, 1^{ère} éd. Italie, Presses polytechniques. p 167-168. ISBN : 978-2-288074-754-1.
- **Belkadi.F, Belmaaziz. S., (2015).** Effet des extraits de thym (*thymus vulgaris*) sur la qualité d'un lait fermenté alicament type yaourt étuvé au cours de la conservation.
- **Beal C., Skokanova J., Latrille E., Martin N., Corrieu G., (1998).** Effets combinés des conditions de culture et de temps d'entreposage sur l'acidification et viscosité du yaourt remué. Institut agronomique national paris france.
- **Beal C. et Sodini I., (2003).** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. In *Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire*, F6315. Pp. 2-16.
- **Bergamaier, D., (2002).** Production d'exopolysaccharides par fermentation avec des cellules immobilisées de *Lactobacillus rhamnosus* RW-959M dans un milieu à base de permeat de lactosérum (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, université de Laval, Canada).

- **Bourlioux, P., Braesco, V., & Mater, D. D., (2011).** Yaourts et autres laits fermentés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(6), 305-314.
- **Boubchir K., (2011).** Effet de l'enrichissement (avec des concentrés de protéines laitières) et des paramètres technologiques sur la qualité du yaourt fabriqué à la laitière Sommam d'Akbou. Thèse de Magister de Biochimie Appliquée et Biotechnologies. Université Mouloud Mammeri, Faculté des Sciences Biologiques et des Bciences Agronomiques, Tizi Ouzou. 65p.
- **Boudier J.F., (1990).** Produits frais. In : lait et produits laitiers. Vache, brebis et chèvre. Lait de la mamelle à la laiterie. Ed. Technique et documentation. Lavoisier. 397p.
- **Bourlioux, P., Braesco, V., Mater, D.-D., (2011).** Yaourts et autres laits fermentés. *Nutrition et Diététique*, 46(6): 305-314.
- **Brule G ., (1997).** La micelle de caseine et la coagulation du lait. Le fromage : de la science à l'assurance-qualité. E. A. E. G. J. C. Ed. TEC et DOC. Lavoisier. Paris. 201p
- **Bruzzone, F., Ares, G., Giménez, A., (2013).** Temporal aspects of yoghurt texture perception. *International Dairy Journal*, 29(2): 124-134. DOI : 10.1016/j.idairyj.2012.10.012.
- **Carole et Vignola L., (2002).** Science et technologie du lait. Ecole polytechnique de Monreale.
- **Carol, L. V., (2002).** Formation de technologie laitière du Québec Inc. Transformation du lait .Ed. Science et Technologie du lait .p529-530 ; 2002.
- **Cesbron-Lavau, E., Lubrano-Lavadera, A. S., Braesco, V., & Deschamps, E., (2016).** Fromages blancs, petits-suisses et laits fermentés riches en protéines. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52(1), 33-40.
- **Chamba JF, Duong C, Fazal A et Prost F., (1994).** Sélection des souches de bactéries lactiques. In : De Roissart H et Luquet F.M. Bactéries lactiques. (Eds.), Lorica I, Paris, pp. 499-521.
- **Chaves A.C.S.D., Fernandez M., Lerayer A.L.S., Mierau I., Kleerebezem M. et Hugenholtz J., (2002).** Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 5656-5662.
- **Chen, W., Wang, Y., & Yang, S., (2009, June).** Efficient influence maximization in social networks. In *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining* (pp. 199-208).

- **Claustriau J-J., (2001).** Considerations sur l'analyse statistique de données sensorielles .*Biotechnol . Agron. Soc. N° 55 (3)* , 155-158, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique) p155.
- **Corrieu, G et Luquet., (2008).** Bactéries lactiques de la génétique aux ferments. Ed. Lavoisier. Paris. France.
- **De Roissart, FM Luquet ., (1994).** Bacteries lactiques, Aspect fondamentaux et technologiques tome 1, Ed. Loriga, pp. 380-410. H Roissart, FM Luquet (1994). Bacteries lactiques, vol. 2, Ed. Loriga. Salminen SA, von Wright (1999). Lactic acid bacteria. Dekker, NewYork.
- **Desmazeaud M., (1996).** Les bactéries lactiques dans l'alimentation humaine : Utilisation et Innocuité. Cahier Agriculture. 5 Suppl 5 : 331-342.
- **Dillon J.C., (2005).**Place du lait dans l'alimentation humaine en région chaude (INAPG Agro Paris Tech.) p 5.
- **Durso, L et Hukins., (2003).** R. Starter cultures. Universitu of Nebraska, Linocoln, NE, USA. Elsevier Science Ltd.
- **Eck A., (1997).** Les techniques industrielles. In : Lait et l'industrie laitière. Ed. Puf. Pp : 19- 81.
- **FAO., (1995).** Le lait et les produits laitiers, dans la nutrition humaine. Collection FAO : alimentation et nutrition, 28. Rome. 290p.
- **Fox P. F., (2001).**Milk proteines as food ingerdients .*International Journal of Dairy Technology*,54,41-55.
- **Fisberg, M., & Machado, R., (2015).** History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition reviews*, 73(suppl_1), 4-7.
- **Fiszman, S., Lluch, M., Salvador, A., (1999).** Effect of addition of gelatin on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. *International Dairy Journal*, 9(12): 895-901. DOI: 10.1016/S0958-6946(00)00013-3.
- **Francois M.L et George C., (2005).** Bacteries lactique et probiotiques. Édition Lavoisier Technologie et Documentation. P 4 ,6.
- **Fredot,E., (2005).** Connaissance des aliments-bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique, tec et doc, Lavoisier : 25(397 pages).
- **Ghalem.K., (2014).** L'effet de variation des doses de jus de citron sur la qualité physicochimique, microbiologique et organoleptique d'un lait fermenté type yaourt étuvé.

- **Goulet, O., (2017).** Yaourt, un nouveau regard. Cahiers de nutrition et de diététique. 52S, S3- S4.
- **Gosta B., (1995).** Produits laitiers de culture. Manuel de transformation du lait. Edition• : Téta pack processing systems AB. Suède 417p.
- **Hermier J. ,Lenoir J. et Weber F., (1996).** Groupe d'intérêt laitier. Ed. Cepil. Paris. P94
- **ISO ., (1992).** Norme Internationale ISO 5492. Analyse sensorielle ; controle de la qualite des produits alimentaires.
- **ISO., (1994).** Analyse sensorielle. Méthodologie. Profil de la texture. NF ISO 11036, 16 p.
- **Jacobson NS, Dobson KS, Truax ME, Koerner K, Gollan JK, Gortner E et Prince SE., (1996).** A component analysis of cognitive-behavioral treatment for depression. Jornal of Consulting and Clinical Pyscology. 64, 295-304.
- **Jeantet R, Croguennec T, Schuck P et Brulé G., (2007).** Science des aliments : Biochimie-Microbiologie-Procédés-Produit. Technologie des produits alimentaires. Edition : Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 185p.
- **Jeantet R., Croguennec T., Mathaut M., Schuk P et Brulé G ., (2007).**les produits laitiers .2^{eme} édition. lavoivier .P23-43.
- **Jeantet R., Croguennec T., Mathaut M., Schuk P et Brulé G., (2008).**les produits laitiers .2^{eme} édition . lavoivier .P23-43.
- **Jeantet R, Croguennec T, Mahaut M, Schuck P et Brulé G., (2008).** Les produits ♦ laitiers. Edition : Technique et Documentation. Lavoisier, Paris, 465p.
- **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.
- **Kuipers O.P., Buist G. et Kok J., (2000).**Current strategies for improving food bacteria. Research Microbiology, 151, 815-822.
- **Kosikowski, F. V., & Mistry, V., (1997).** Cheese and fermented milk foods. Volume 1: origins and principles. *Cheese and fermented milk foods. Volume 1: origins and principles.*, (Ed. 3).
- **Lablondele, C., (2007).** Les laits fermentés : vos alliés pour une meilleure santé. Pp.3.
- **Lamontagne M., Claude P., Champane C.P., Moineau S., Gardner N. et Fiss I., (2002).** Microbiologie du lait. In : « sciences et technologie du lait ». Ed. Fondation de

technologielaitière du québec Inc. ST. Laurent. Ecole polytechnique de Montréal. Pp : 89-90.

- **Larpent J P et Bourgeois, C .M ., (1989).** Les fermentations alimentaires. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris. 315 Pages.
- **Leory F., Degeest B.& De Vuyst L., (2002).** A novel area of predictive modeling :describing the functionally of beneficial micro-organismes in foods. *International journal of Food Microbiology* ,73,251-259.
- **Leveau JY et Bouix M., (1993).** Microbiologie industrielle des micro-organismes d'intérêt industriel. Edition : Tec et Doc, Lavoisier, Paris, 612p.
- **Lefebvre, A., et Bassereau, J.-F., (2003).** L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception: ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. Application aux emballages. *Journal of Sensory Studies*, 10(3): 3-11. DOI : 10.442/j.4 63 47.
- **Lesme ,H., (2019).**Impact des modification de texture obtenus par des assemblages protéiques innovants sur la qualité organoleptique de produits laitiers. Thèse présenté pour l'obtention du diplôme de doctorat ,Université Bretagne Loire.p173.
- **Loones, A., (1997).** Laits fermentés par les bactéries lactiques. In *Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologiques*. Vol 2. De Roissart, H. & Luquet, F. M. (Eds), Lorica, Uriage, 135-154.
- **Loones A., (1994).** Les laits fermentés par les bactéries lactiques. *Bactéries lactiques*. coord. Lorica edition, Paris, 2: 135-154.
- **Lupein D., (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture; pp 155.
- **Lupien J., (1998).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Colecion FAO: Alimentation et nutrition. 28.
- **Luquet F., (1990).** Les produits laitiers. Deuxième édition. Paris : Lavoisier. p45.
- **Luquet F., (1985).** Lait et produits laitiers, vache, brebis, chèvre, V1.ED. Tec & Doc. Lavoisier .Paris.
- **Luquet, F. M., Carrieu, G., (2005).** Bactéries lactiques et probiotiques. Collection sciences et techniques agroalimentaires, Ed lavoisier tec et Doc, Paris,Pp 307.
- **Luquet F.M., corrieu G.(2008).** Bactéries lactiques et probiotiques. Edition Tec et Doc Lavoisier, Paris. 307 p.
- **Lütke Entrup, M., Günther, H. O., Van Beek, P., Grunow, M., & Seiler, T., (2005).** Mixed-Integer Linear Programming approaches to shelf-life-integrated

planning and scheduling in yoghurt production. *International journal of production research*, 43(23), 5071-5100.

- **Mac Leod P., Sauvageot F., (1986).** Bases neurophysiologiques de l'évaluation sensorielles des produits alimentaires, *Les Cahiers de l'Ensbana* 5. P a r i s : Lavoisier , 165 p.
- **Mahaut M, Jeantet R, Schuck P, Brulé G., (2000).** Les produits industriels laitiers Tech&Doc, Lavoisier, Paris.178p.
- **Mahaut M., Jeantet R., Brulé G., Schuck P., (2000).** Produits fermentés et desserts lactés. In : les produits industriels laitiers. Tec et Doc Lavoisier, Paris.25-47.
- **Mahaut M., Jeantet R., Croguenne TH., Schuck P., Brulé G., (2008).** Les produits laitiers, Editions Technique & Documentaire, Lavoisier, 31-33.
- **Malonga M., (1985).** Etude de la fabrication des yaourts en republique populaire du CONGO. Essais d'améliorations. Thèse du Doctorat de Troisième Cycle Spécialité: Sciences Alimentaires. L'Université de Clermont II. P: 174.
- **Marshall, V. -M., (1987).** Lactic acid bacteria: starters for flavour. *Microbiology Reviews*, 3(3): 327-336. DOI : 10.1111/j.1574-6968.1987.tb02469.x.
- **Marty-Teyssset C., De La Torre F. Garel J.R., (2000).** Increased production of hydrogen peroxyde by lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus upon aeration: involvement. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (1), 262-267.
- **Mc Sweney PLH et Sousa MJ., (2000).** Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening. *Lait. Dairy Science and Technology*. 80 Suppl 3 : 293- 324.
- **Meghachou, W., (2014).** Approche méthodologique à la modelisation par les plans d'expériences pour l'élaboration d'un yaourt .Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de magister, Université d'Oran .p59.
- **Mohammadi, R., Sohrabvandi, S., & Mohammad Mortazavian, A., (2012).** The starter culture characteristics of probiotic microorganisms in fermented milks. *Engineering in Life Sciences*, 12(4), 399-409.
- **Morand, M., Dekkari, A., Guyomarc'h, F., & Famelart, M. H., (2012).** Increasing the hydrophobicity of the heat-induced whey protein complexes improves the acid gelation of skim milk. *International Dairy Journal*, 25(2), 103–111.
- **Meilgaard, M. C., Carr, B. T., & Civille, G. V., (1999).** *Sensory evaluation techniques*. CRC press.

- **Ndiaye P., (2002).** Contrôle de qualité de différentes marques de lait en poudre Commercialisés en Sénégal. Thèse de Doctorat en pharmacie. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Pp : 47.
- **Nicod H., (1998).** L'organisation pratique de la mesure sensorielle. In évaluation sensorielle « manuel méthodologique ». ed. Tec et Doc – Lavoisier, Paris, p : 46-85.
- **Paci Kora, E.-P., (2004).** Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé: quels impacts respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur. Thèse pour l'obtention du Doctorat en sciences des aliments. Paris, Institut national d'agronomie. Paris. Grignon. Pala V., Sieri S., Berrino F .p184.
- **Pelletier, J. F., Faurie, J. M., François, A., & Teissier, P., (2007).** Lait fermenté: la technologie au service du goût. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 42, 15-20.
- **Pernoud S, Schneid-Citrain N, Agnetti V, Breton S, Faurie JM, Marchal L, Obis D, Oudot E, Paquet D et Robinson T., (2005).** Application des bactéries lactiques dans les produits laitiers frais et effets probiotiques. In : Luquet F.M et Georges Corrieu. Bacteries lactiques et probiotiques. Edition : Technique et Documentation. London, Paris, New-York, pp 01-100.
- **Plackett K-L., et Burman J-P., (1946).** The design of optimum multifactoriel experminets. *Biometrika*, 33, pp.305-325.
- **Pouliot M., Michel J.M., Richard J., (2002).** Lait de consommation. IN« science et technologie du lait, transformation du lait». Ed presses internationales polytechniques. pp : 277-321.
- **Prajapati, J. B., & Nair, B. M., (2003).** The history of fermented foods. *Fermented Functional Foods*. CRC Press, Boca Raton, New York, London, Washington DC, 1-25.
- **Prentice J.H., (1992).** Dairy rheology. A concise guide. Food science and technology collection. New York : VCH Publishers ,Inc(Ed), New York.
- **Radhouane K., Belgacem N., Samir B., (2008).** Application of a statistical design to the optimization of parameters and culture medium for α -amylase production by *Aspergillus oryzae* CBS 819.72 grown on gruel (wheat grinding by-product); Laboratoire d'Enzymes et Metabolites des Prokaryotes Bioresource Technology .(99), pp.56-62.
- **Richard, H., (1992).** Epices et aromates. F753884 Paris Codex 08, France ; Tec & Doc Lavoisier. 339pp. ISBN 2-85206-774-9.

- **Richardson S.J. ,Baianu I.C. & Steingerg M.P., (1987).**Mobility of water in sucrose solutions determined by deuterium and oxygen -17 nuclear magnetic resonance measurement. *Journal of Food Science*,52,806-809.
- **Robinson, R. K., Tamime, A. Y., & Wszolek, M., (2002).** Microbiology of fermented milks. *Dairy microbiology handbook: the microbiology of milk and milk products*, 468.
- **Sahan N., Yasar K. et Hayloglu, A., (2008).** Physical, chemical and flavor quality of nonfat yogurt as affected by a B-glucanhydrocolloidal composite during storage. *Food Hydrocolloids*.
- **Saint-Eve, A., Anne-Cécile, M., Delarue , J., (2017).** Sucrage des yaourts: diversité des comportements et impact sur les apports en sucres. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 52: S80-S86. DOI : 10.1016/S0007-9960(17)30201-8.
- **Sasirekha, D., and E. Chandra., (2012).** "Text to speech: a simple tutorial." *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)* 2, no. 1 275-278.
- **Schkoda A., Stumph A.& Kessler H.G., (1998).**Stability of the protein content on structural characteristics of stirred fermented milks. *Milchwissenschaft* ,56,19-22.
- **Schkoda, P., Hechler, A., Hinrich, J., (2001).** Influence of the protein content on structural characteristics of stirred fermented milks. *Milk Science International*. 56: 19-22.
- **Shah, N. P., (2006).** Health benefits of yogurt and fermented milks. *Manufacturing yogurt and fermented milks*, 327.
- **Shakeel Hanif M., Zahoor T., Iqbal Z., Ihsan-ul-Haq. et Arif A.M., (2012).** Effect of storage on rheological and sensory characteristics of cow and buffalo milk yogurt. *Pakistan Journal of Food Sciences*, 22, 61-70.
- **Snappe J.J., Lepoudere A. et Sredzinski N., (2010).** Protéines lactières. In *Technique de l'ingénieur, traité Agroalimentaire*, f4820, pp 1-19.
- **Sodini I. et Beal C., (2012).** Fabrication des yaourts et laits fermentés. Ed. *Technique de l'ingénieur*. F6315. Pp : 02-16.
- **Singh SK, Ahmed SU et Pandey A., (2006).** Metabolic engineering approaches for lactic acid production. *Process Biochemistry*. 41, 991-1000.
- **Surono, I. S., Koestomo, F. P., Novitasari, N., & Zakaria, F. R., (2011).** Novel probiotic *Enterococcus faecium* IS-27526 supplementation increased total salivary

sIgA level and bodyweight of pre-school children: a pilot study. *Anaerobe*, 17(6), 496-500.

- **Syndifrais., (2011).** Tout savoir sur le yaourt, p 20-22, (en ligne).
- **Tamime, A.Y., Deeth, H.C., (1980).** Yogurth: technology and biochemistry. *Journal of Food protection*, 43, 12, 939-977. Tamime AY et Robinson RK. 1999. *Yoghurt science and technology*, 2nd Ed. • *International Journal of Dairy Technology*. 52 Suppl 4: 389-431.
- **Tamime ,A. Y .et Robinson R. K., (1985).** Backroud to manufacturing practice. In *Yoghurt. Science and technology*. (Eds), Pergamon press, Paris, 7-90.
- **Tamime, A.-Y., Et Robinson, R.-K., (1999).** *Yoghurt: science and technology*. 2 éd. England Woodhead Publishing Ltd, 619 p. ISBN: 1 85573 676 4.
- **Tamime Y.A. & Robinson R.K .,& Latrille E., (2001).**Yoghuer and other fermented milks .In Y. A. Tamime,& B.A. Law (Eds.), *Mechanisation and automation in dairy technology* (pp.152-203).
- **Tome D., (2002).** Laits fermentes : des antiques vertus aux nouvelles propriétés. *Le Quotidien de médecin in : Agronomie et nutrition* .Institutue national agronomique Paris-Grignon (INA P-G).
- **Treillon R., (2000).** L'alimentation santé: Enjeux et déchiffrages. *Industries alimentaires et agricoles*, 117(6): 39-46.
- **Uriot, O., Denis, S., Junjua, M., Roussel, Y., Dary-Mouro, A., & Blanquet-Diot, S., (2017).** *Streptococcus thermophilus: from yogurt starter to a new promising probiotic candidate?. Journal of Functional Foods*, 37, 74-89.
- **Vahedi N., Mazaheri M., Tehrani., Shahidi F ., (2008).** Optimizing of Fruit Yoghurt Formulation and -Evaluating Its Quality During Storage. Ed; *American-Eurasian J. Agric. & Environ- Iran*, 922- 927.
- **Van Marle M., (1998).**Structure and rheological properties of yoghurt gels and stirred yoghurts. Thèse. Université de Twente, Enschede, Pays Bas.
- **Van Marle, M. E., Van den Ende, D., De Kruif, C. G., & Mellema, J., (1998).** Steady-shear viscosity of stirred yogurts with varying ropiness. *Journal of Rheology*, 43(6), 1643-1662.
- **Vignola, C.I., (2002).** Science et technologie du lait : transformation du lait. Ed Lavoisier, Paris, Pp600.

Titre du mémoire: Etude de l'influence de certains paramètres technologiques sur la qualité du yaourt brassé par l'utilisation d'une matrice d'expériences.

Nom : Boudelaa

Prénom : Meriem

Encadreur : Allali Khadidja

Résumé : L'objectif de ce présent travail est d'optimiser la qualité du yaourt brassé par l'étude de l'effet de quelques paramètres technologiques. Une approche méthodologique pour la modélisation a été suivie afin de trouver les paramètres optimaux par l'utilisation d'un plan d'expériences permettant d'organiser au mieux les essais modèles. Cette modélisation nous a permis de sélectionner les facteurs ayant une influence statistiquement significative sur la qualité de ce yaourt en suivant un design expérimentale dit le plan de criblage de Plackett-Burman avec 6 facteurs (le sucre, l'arôme, le colorant, la flore lactique, l'origine du lait et la concentration), cela a conduit à 12 essais de fabrication du yaourt brassé qui ont été évalués par des analyses sensorielles. À l'issue de cette étape, nous avons conclu qu'il y avait 3 facteurs (concentration, sucre et arôme) ayant une influence statistiquement significative ($P < 0,05$) sur la qualité du yaourt. La valeur optimale des facteurs de modélisation testée est donnée par 21,03. Le modèle est très satisfaisant avec un R^2 de 95,86% et un R^2 ajusté de 90,88%.

Mots clé : Optimisation, qualité, yaourt brassé, plan d'expériences, Plackett-Burman.

Dissertation title: Study of the influence of certain technological parameters on the quality of stirred yogurt using an experimental matrix.

Name: Boudelaa

First name: Meriem

Encadreur: Allali Khadidja

Abstract: The objective of the present work was to optimize the quality of stirred yogurt by studying the effect of some technological parameters. A methodological approach for modeling was followed in order to find the optimal parameters using a experimental design for selected the best organization of the model trials. This modeling allows us first of all to select the factors having a statistically significant influence on the quality of this yogurt by following an experimental design of Plackett-Burman screening plan with 6 factor (sugar, flavor, dyes, lactic yeast, origin of milk and concentration), this led to 12 manufacturing trials of stirred yogurt which were evaluated by sensory analyzes. Results showed that 3 factors was having a statistically significant ($P < 0.05$) influence on the quality of the yogurt. The optimal value of the tested modeling factors is given by 21.03. The model is very satisfactory with an R^2 of 95.86%, and an adjusted R^2 of 90.88%.

Keywords: Optimization, quality, stirred yogurt, design of experiments, Plackett-Burman.

عنوان المذكرة: دراسة تأثير بعض المتغيرات التكنولوجية على جودة اللبن المخفوق باستخدام مصفوفة تجارب.

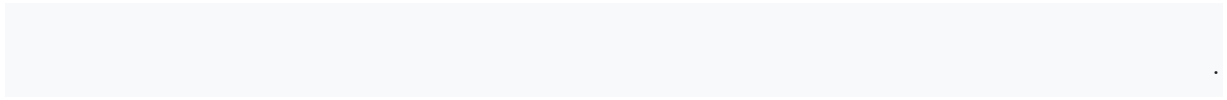
المؤطر: علالي خديجة

الاسم: مريم

اللقب: بوضلة

الخلاصة: الهدف من هذا العمل هو تحسين جودة اللبن المخفوق من خلال دراسة تأثير بعض المعايير التكنولوجية. تم اتباع منهجية من أجل العثور على المعلمات المثلى من خلال استخدام تصميم تجارب يسمح بتنظيم أفضل لاختبارات هذا النموذج. سمحت لنا هذه النمذجة أولاً وقبل كل شيء بتحديد العوامل التي لها تأثير مهم إحصائياً على جودة هذا اللبن من خلال اتباع تصميم تجريبي يسمى خطة فرز بلاكيت بورمان مع 6 عوامل (السكر، النكهة، اللون، الخمائر اللبنية، أصل الحليب والتركيز)، أدى ذلك إلى 12 تجربة تصنيع اللبن المخفوق والتي تم تقييمها من خلال التحليلات الحسية. في نهاية هذه الخطوة توصلنا إلى أن هناك 3 عوامل لها تأثير هام إحصائياً على الجودة، وتم إعطاء القيمة المثلى لعوامل النمذجة المختبرة بحلول 21.03. النموذج مُرضٍ للغاية مع R^2 بنسبة 95.86٪، ومعدل R^2 المعدلة بنسبة 90.88٪.

الكلمات المفتاحية: التحسين، الجودة، اللبن المخفوق، تصميم التجارب، بلاكيت بورمان.



Introduction

CHAPITRE I

Synthèse Bibliographique

CHAPITRE II

Matériel et méthodes

CHAPITRE III

Résultats et discussions

Conclusion

Références bibliographiques

