

République Algérienne Démocratique et Populaire

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



جامعة عبد الحميد ابن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

Mme GOUAICH Hadjira

Mlle MEKEMECHE Rachida

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité: Agroalimentaire et contrôle de qualité

THÈME

**Effet antimicrobien des composés phénoliques
des graines de *Foeniculum vulgare* sur la qualité
d'un lait fermenté type yaourt étuvé**

Soutenu publiquement le 14/09/2022

Devant les membres du jury

| | | | |
|-----------|-----------------------|-----|---------------|
| Président | Mme AIT CHABANE Ouiza | MCA | U. Mostaganem |
| Encadreur | M. AÏT SAADA Djamel | MCA | U. Mostaganem |
| Examineur | Mme HAMMOU Faiza | MAA | U. Mostaganem |

Thématique réalisée au Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition- Université de Mostaganem.

Année universitaire 2021-2022

Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir accordé la force et le courage pour achever ce modeste travail qui est le couronnement de plusieurs années d'études.

On exprime toute notre gratitude et considération à notre encadreur M. AÏT SAADA Djamel Maître de Conférences Classe A, d'avoir proposé et dirigé cette thématique d'étude au sein de son laboratoire de recherche en Technologie Alimentaire et Nutrition; on le remercie vivement pour sa disponibilité, ses conseils et ses critiques constructives.

Nos sincères remerciements et notre profonde gratitude s'adressent aussi à Mme AIT CHABANE Ouiza MCA à l'Université de Mostaganem qui nous a fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

On remercie par ailleurs dans la même ligne de conduite Mme HAMMOU Faiza d'avoir accepté de juger ce mémoire et de l'enrichir avec ses conseils éclairés.

Nous tenons à remercier éventuellement tous les techniciens, techniciennes, membres et collaborateurs exerçant aux laboratoires de recherche de l'université de Mostaganem pour leurs aides et soutiens.

On remercie enfin tous ceux qui nous ont rendu service et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Résumé :

L'objectif de ce travail vise à concevoir un nouveau produit alimentaire à savoir un lait fermenté type yaourt étuvé à base d'extrait des graines de fenouil riche en composés bioactifs intéressant pour la santé et qui pourrait être un projet prêt pour quiconque souhaitant investir dans le domaine en Algérie. L'étude expérimentale a été consacrée à l'évaluation de l'effet antimicrobien de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* L., vis-à-vis de la croissance des germes spécifiques du yaourt et de son impact comme additif naturel sur l'évolution des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques d'un lait fermenté au cours de 21 jours de la période de post acidification. L'extrait des graine de fenouil objet de l'étude a été obtenu par macération d'une prise de matière végétale des graines de fenouil dans une solution hydroéthanolique. L'extrait récupéré après filtration et évaporation du solvant a été ensuite incorporé à 0, 6 et 8% dans la préparation d'un lait fermenté type yaourt étuvé. Les différentes mesures et contrôles réalisés périodiquement en triples essais durant la conservation des produits à 4°C ont concerné le pH, l'acidité, la viscosité, le dénombrement des *Streptococcus thermophilus*, le dénombrement des *Lactobacillus bulgaricus* et les tests organoleptiques dont acidité, fraîcheur, cohesivité, adhésivité, couleur, odeur et arrière goût. Les données expérimentales ont été traitées par une analyse de variance et une comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

Les résultats ont montré que l'ajout d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* notamment à des taux sévères de 8% améliore l'acidité et le pH du milieu; alors qu'au contraire la viscosité des laits fermentés est nettement altérée.

Par ailleurs, l'accroissement des deux germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* spécifiques des yaourts renforcés à l'extrait de la plante n'a pas été affecté durant toute la période de conservation.

Apparemment, le lait fermenté additionné d'extrait aqueux de fenouil à 6 % a été le mieux apprécié par le jury de dégustation que le yaourt standard.

Mots clés : *Foeniculum vulgare*, Yaourt étuvé, extrait hydroéthanolique, antimicrobien, qualité.

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو تصميم منتج غذائي جديد ، وهو الحليب المخمر مثل الزبادي المبخر على أساس مستخلص بذور الشمر الغني بالمركبات النشطة بيولوجيًا التي تهتم الصحة والتي يمكن أن تكون مشروعًا جاهزًا لأي شخص يرغب في الاستثمار في المجال في الجزائر. خصصت الدراسة التجريبية لتقييم التأثير المضاد للميكروبات للمستخلص المائي الإيثانولي لبذور *Foeniculum vulgare L.* ، مقابل نمو جراثيم معينة من الزبادي وتأثيرها كإضافة طبيعية على تطور الجسم. - العوامل الكيميائية والميكروبيولوجية والحسية للحليب المخمر خلال 21 يومًا من فترة ما بعد التخمير. تم الحصول على مستخلص بذور الشمر موضوع الدراسة عن طريق نقع مادة نباتية مأخوذة من بذور الشمر في محلول مائي إيثانولي. تم دمج المستخلص المستعاد بعد الترشيح وتبخير المذيب عند 0 و 6 و 8٪ في تحضير الحليب المخمر مثل الزبادي على البخار. القياسات والضوابط المختلفة التي يتم إجراؤها بشكل دوري في الاختبارات الثلاثية أثناء تخزين المنتجات عند 4 درجات مئوية تتعلق بالرقم الهيدروجيني والحموضة والزوجة وتعداد *Streptococcus thermophilus* وتعداد *Lactobacillus bulgaricus* والاختبارات الحسية بما في ذلك الحموضة والنضارة ، التماسك ، الالتصاق ، اللون ، الرائحة والطعم. تمت معالجة البيانات التجريبية من خلال تحليل التباين ومقارنة المتوسطات اثنين في اثنين وفقًا لاختبار نيومان وكويلز.

أظهرت النتائج أن إضافة المستخلص المائي الإيثانولي لبذور *Foeniculum vulgare* ، على وجه الخصوص بمعدلات حادة تبلغ 8٪ ، يحسن الحموضة ودرجة الحموضة في الوسط ؛ بينما ، على العكس من ذلك ، يتم تغيير لزوجة الحليب المخمر بشكل واضح.

بالإضافة إلى ذلك ، لم يتأثر نمو جرثومي *Streptococcus thermophilus* و *Lactobacillus bulgaricus*

الخاصين بالزبادي المعزز بمستخلص نباتي طوال فترة التخزين.

على ما يبدو ، كان الحليب المخمر مع إضافة 6 ٪ من مستخلص الشمر المائي أكثر تقديرًا من قبل لوحة التذوق من

اللبن القياسي.

الكلمات المفتاحية *Foeniculum vulgare* ؛ ، زبادي على البخار ، مستخلص هيدروثانولي ، مضاد للميكروبات ، جودة.

Abstract:

The objective of this work is to design a new food product, namely a fermented milk such as steamed yogurt based on fennel seed extract rich in bioactive compounds of interest to health and which could be a ready project for anyone wishing to invest in the domain in Algeria. The experimental study was devoted to the evaluation of the antimicrobial effect of the hydroethanolic extract of the seeds of *Foeniculum vulgare* L., vis-à-vis the growth of specific germs of yogurt and its impact as a natural additive on the evolution of the physico-chemical, microbiological and organoleptic parameters of a fermented milk during 21 days of the post-acidification period. The fennel seed extract object of the study was obtained by maceration of a plant material taken from fennel seeds in a hydroethanolic solution. The extract recovered after filtration and evaporation of the solvent was then incorporated at 0, 6 and 8% in the preparation of a fermented milk such as steamed yoghurt. The various measurements and controls carried out periodically in triple tests during the storage of the products at 4°C concerned the pH, the acidity, the viscosity, the enumeration of *Streptococcus thermophilus*, the enumeration of *Lactobacillus bulgaricus* and the organoleptic tests including acidity, freshness, cohesiveness, adhesiveness, color, odor and aftertaste. The experimental data were processed by an analysis of variance and a comparison of the means two by two according to the Newman and Keuls test.

The results showed that the addition of hydroethanolic extract of the seeds of *Foeniculum vulgare*, in particular at severe rates of 8%, improves the acidity and the pH of the medium; whereas, on the contrary, the viscosity of fermented milks is clearly altered.

In addition, the growth of the two germs *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* specific to yoghurts reinforced with plant extract was not affected throughout the storage period.

Apparently, the fermented milk with the addition of 6% aqueous fennel extract was more appreciated by the tasting panel than the standard yogurt.

Keywords: *Foeniculum vulgare*, *steamed yogurt*, *hydroethanolic extract*, *antimicrobial*, *quality*.

Table des matières

Remerciements

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction 2

Partie 01 :Etude Bibliographique..... Erreur ! Signet non défini.

Chapitre I: Etat des lieux sur *Foeniculum vulgare* Erreur ! Signet non défini.

- 1. Aspect botanique 7
- 2. Classification 8
- 3. Composés chimiques des graines de fenouil 9
- 4. Composé bioactifs des graines de fenouil 10
 - 4.1. Les polyphénols- Composé phénoliques 11
- 5. Intérêt santé 11

Chapitre II : Aspect sur le yaourt Erreur ! Signet non défini.

- 1. Généralités 14
- 2. Définition 14
- 3. Types de yaourt 15
- 4. Technologie de fabrication 16
 - 4.1. Standardisation du mélange 17
 - 4.2.Traitement thermique 17
 - 4.3.Ensemencement 18
 - 4.4.Fabrication du levain lactique 18
 - 4.4.1.Conservation du levain 18
 - 4.4.2.Rôle et propriétés des levains lactiques 18

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|------------------------------------|
| 4.5.Réchauffage | 19 |
| 4.6.Etuvage / brassage | 19 |
| 4.6.1.Phase d'incubation (étuvage) | 19 |
| 4.6.2.Brassage | 20 |
| 5. Intérêt santé de yaourt | 20 |
| 6. Qualité microbiologique, physicochimique et organoleptique des yaourts au cours de la conservation | Erreur ! Signet non défini. |
| Partie 02 : Etude Méthodologique..... | Erreur ! Signet non défini. |
| 1. Objectifs | 23 |
| 2. Région de prélèvement et traitements préliminaires du matériel végétal | 23 |
| 3. Extraction des composés bioactifs par usage du méthanol | 23 |
| 4. Essai de fabrication d'un lait fermenté étuvé enrichi d'extraits des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> | 25 |
| 5. Technologie de fabrication des laits fermentés expérimentaux | 26 |
| 6. Préparation du levain..... | 26 |
| 7. Mesures et contrôles sur les laits fermentés | 27 |
| 7.1 Analyses physicochimiques | 27 |
| 7.1.1 Acidité..... | 27 |
| 7.1.2 pH..... | 28 |
| 7.1.3 Viscosité..... | 28 |
| 7.2 Analyses microbiologiques | 29 |
| 7.3 Test organoleptique..... | 30 |
| 8. Traitement statistique | 30 |
| Partie 03 : Résultats et discussion..... | Erreur ! Signet non défini. |
| 1. Résultats | 32 |
| 1.1. Analyses physicochimiques | 32 |
| 1.1.1. Acidité..... | 32 |

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| 1.1.2. pH..... | 32 |
| 1.1.3. Viscosité..... | 32 |
| 1.2. Analyses microbiologiques | 36 |
| 1.3. Tests organoleptiques..... | 36 |
| 1.3.1. Goût acide | 36 |
| 1.3.2. Goût fraîcheur | 36 |
| 1.3.3. Cohésivité | 38 |
| 1.3.4. Adhésivité | 39 |
| 1.3.5. Couleur..... | 40 |
| 1.1.6. Odeur..... | 41 |
| 1.3.7. Arrière goût..... | 42 |
| 2. Discussion..... | 43 |
| Conclusion générale | 51 |
| Références Bibliographiques..... | 54 |
| Annexes | 61 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Classification taxonomique de <i>Foeniculum vulgare</i> | 8 |
| Tableau 2 . Composition chimique des graines de fenouil (Rather et al., 2016) | 9 |
| Tableau 3 . Les catégories de yaourt (Vignola, 2002) | 15 |
| Tableau 4. Evaluation de l'acidité titrable (°D) des laits fermentés type yaourt étuvé supplémentés d'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> au cours de la conservation. | 33 |
| Tableau 5. Evaluation du pH des laits fermentés type yaourt étuvé supplémentés d'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> au cours de la conservation. | 34 |
| Tableau 6. Evaluation de la viscosité (Pa.s) des laits fermentés type yaourt étuvé supplémentés d'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> au cours de la conservation. | 35 |
| Tableau 7. Effets d'ajout de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgares</i> sur la croissance des germes lactiques spécifiques du yaourt au cours de la conservation. | 37 |
| Tableau 8. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> sur les variations du goût acide des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4 °C pendant 21 ^{ème} jours. | 38 |
| Tableau 9. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> sur les variations du goût de fraîcheur des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21 ^{ème} jours. | 38 |
| Tableau 10. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> sur les variations de la cohésivité des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21 ^{ème} jours. | 39 |

| | |
|--|----|
| Tableau 11. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> sur les variations de l'adhésivité des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21 ^{ème} jours | 40 |
| Tableau 12. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> sur les variations de la couleur des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21 ^{ème} jours | 41 |
| Tableau 13. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> sur les variations de l'odeur des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21 ^{ème} jours | 41 |
| Tableau 14. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de <i>Foeniculum vulgare</i> sur les variations de l'arrière goût des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21 ^{ème} jours..... | 42 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1. <i>Foeniculum vulgare</i> (Badgujar et al., 2014)..... | 7 |
| Figure 2 . Graine de <i>Foeniculum vulgare</i> (Malinodo Biog-le N°1du thé bio malindo.Fr..... | 9 |
| Figure 3. Diagramme des principales étapes de la fabrication du yaourt..... | 16 |
| Figure 4 . Méthode d'extraction des composés phénoliques de <i>Foeniculum vulgare</i> | 24 |
| Figure 5. Processus d'extraction des composés bioactifs (Sultana et al., 2009)..... | 24 |
| Figure 6 . Diagramme de fabrication des laits fermentés expérimentaux | 26 |
| Figure 7. Diagramme de la fabrication du levain | 27 |
| Figure 8 . Titration du l'acidité..... | 27 |
| Figure 9. pH-mètre..... | 28 |
| Figure 10. Dosage de la viscosité | 29 |
| Figure 11 . Matériels utilisés pour le dénombrement des germes <i>Lactobacillus bulgaricus</i> et <i>Streptococcus thermophilus</i> des laits fermentés | 29 |

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius.

°D : Degré Dornic.

LB: Lactobacillus bulgaricus.

M17 : Mannitol.

MRS: Gélose de Man-Rogosa-Sharpe.

Na Cl : Chlorure de sodium.

pH : Potentiel d'hydrogène.

S/L : Rapport de souche Streptococcus thermophilus sur Lactobacilles bulgaricus.

ST: Streptococcus thermophilus.

UFC : Unité formant colonie.

Introduction

Introduction

L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est souvent associée à l'évolution des civilisations. Dans toutes les régions du monde, de tout temps, depuis l'antiquité à ce jour, les peuples ont montré que ces plantes ont toujours occupé une place importante en médecine, dans la composition des parfums et dans les préparations culinaires. La valorisation actuelle de ces ressources naturelles végétales passe essentiellement par l'extraction de leurs composés bioactifs (**Amarti et al., 2011**) ayant démontré plusieurs propriétés (antimicrobiens, antioxydants, anticancer, antiinflammatoire...etc.) largement utilisées en phytothérapie, en aromathérapie, en pharmacie, en médecine moderne et en industrie alimentaire (**Arnal-Schnebelen et al., 2008 ; Oussouet al., 2010**).

Malgré les progrès réalisés dans la synthèse de nouveaux médicaments au 20^{ème} siècle, plus de 25% des médicaments prescrits dans les pays industrialisés sont dérivés directement ou indirectement de plantes (**Karou et al., 2005**). En effet, les plantes médicinales représentent une source inépuisable de remèdes traditionnels et efficaces grâce aux principes actifs qu'elles contiennent : alcaloïdes, composés phénoliques, flavonoïdes, hétérosides, saponosides, quinones, vitamines,...et les huiles essentielles (**Ouis, 2014**).

De nos jours, les composés phénoliques suscitent de plus en plus l'intérêt des chimistes, biologistes, thérapeutes et industriels en raison de leurs utilisations dans le traitement de certaines maladies en substitution aux antibiotiques de synthèse qui deviennent de moins en moins actifs ou dans la préservation des aliments comme additif alternatif aux produits chimiques de synthèse ayant démontré des effets nocifs pour la santé (**Ouis, 2014**).

Le fenouil appartenant au genre *Foeniculum* et à l'espèce *foeniculumvulgare* mill, compte parmi les plantes aromatiques très riche en composés phénoliques. Le fenouil est communément appelé "besbes" par les populations locales. Il est reconnu en Algérie comme étant une plante aromatique, spontanée, abondante à l'ouest du pays et s'adapte bien aux sols argileux (**Lazouni et al., 2007**).

Aujourd'hui, le yaourt est considéré comme un produit de grande consommation et il est consommé par près de 90% de la population mondiale ; il représente la moitié du marché

de l'ultra-frais. En Algérie, une quantité considérable de poudre de lait importée et de lait collecté est transformée par divers processus de fabrication industrielle en plusieurs types de lait et dérivés; lait pasteurisé, fromages, laits fermentés et yaourts.

Deux bactéries lactiques probiotiques spécifiques sont impliquées dans la fabrication des yaourts à savoir *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* qui doivent êtreensemencées simultanément et se trouvées viables dans le produit fini à raison d'au moins 10 millions de bactéries vivantes par gramme jusqu'à la date limite de consommation. Ces germes transforment en symbiose le lactose du lait en acide lactique en lui donnant après coagulation des qualités organoleptiques, digestives et rafraîchissantes particulières (Lasnet et lanty, 1974). En plus d'être apprécié pour son goût, sa texture et sa fraîcheur, le yaourt présente une grande teneur en calcium, protéines, lipides, glucides, phosphate et vitamines.

Les industriels sont contraints aujourd'hui de faire recours à l'usage d'additifs alimentaires afin d'augmenter la rentabilité du produit transformé, allonger sa durée de conservation ou modifier ses qualités organoleptiques. Certains de ces additifs dont chimiques doivent être utilisés d'une manière réfléchie et autorisée par la législation de telle sorte à ne pas nuire à la sante des consommateurs.

La grande richesse de *Foeniculum vulgare* en composés phénoliques naturel (Conner ,1993) nous a conduit à poser la question suivante : « Est ce que l'utilisation de l'extrait hydroéthanolique de cette plante comme adjuvant naturel dans les produits lactière (production de yaourt par exemple) peut avoir un effet sur l'amélioration de la conservation des produits et sur la croissance des ferments lactiques tels que les *Streptococcus thermophilus* et les *Lactobacillus bulgaricus* qui présentent des intérêts variés (industriels et nutritionnels) » ?

Nous nous somme donc proposé dans cette étude de suivre l'impact d'ajout de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* comme additifs naturel riche en composés phénoliques à effets antimicrobiens et antioxydants sur la qualité et la stabilité d'un lait fermenté type yaourt ferme.

Le manuscrit objet de l'étude comporte trois parties. Une 1^{ère} partie qui est la synthèse bibliographique composée de deux chapitres : le premier chapitre porte sur des informations

sur l'espèce végétale étudiée *Foeniculum vulgare* et un deuxième chapitre qui retrace l'essentiel des informations sur le yaourt. Tandis que, la 2^{ème} partie pratique comporte le matériel et méthodes mises en œuvre dans le cadre de la méthodologie expérimental afin d'atteindre les objectifs escomptés. La dernière partie englobe les résultats et discussion achevés par une conclusion et les perspectives de recherche développement à entreprendre à l'avenir dans le cadre de cette thématique de recherche.

Partie 01 : Etude bibliographique

Chapitre I:

Etat des lieux sur *Foeniculum vulgare*

1. Aspect botanique

Le Fenouil ou , communément appelé "Besbes" par les populations locales, est une plante de la famille des ombellifères (Apiaceae), ayant une saveur anisée caractéristique. Il est originaire de la région méditerranéenne mais peut être cultivée ailleurs (**Piccaglia et Marotti, 2001**). Le nom *Foeniculum* vient du mot latin qui signifie le foin parfumé (**Muckensturm et al., 1997**).

Le fenouil (*Foeniculum vulgare*) est une herbe aromatique semblable dans l'aspect à l'aneth (Murdock, 2002), bisannuelle ou éternelle. Les tiges sont droites, jaunâtre-vertes pâles, sillonnées et embranchées et s'élève jusqu'à 2m de longueur (**Vienna et al., 2005; Kaur & Arora, 2010**). Les feuilles élèvent jusqu'à 40cm de longueur ; elles sont finement disséquées, avec des segments finaux filiformes, environ 0.5mm de largeur (**Vienna et al., 2005**). Les fleurs sont produites dans les ombelles; composés terminaux de 5-15cm de largeur. Chaque section d'une ombelle contient 20-50 fleurs jaunes claires minuscules posées sur des courts pédicules (**Stefanini et al., 2006**).

Les graines de fenouil sont variées infiniment en longueur, largeur, goût et d'autres caractères. En général, ils ont une forme presque cylindrique avec une base arrondie et un sommet plus étroit couronnés avec un grand stylopode. Ce sont généralement de 3-12mm de longueur et de 3 à 4mm de largeur (**Vienna et al., 2005**) avec une odeur forte et douce et sont vert bleu d'abord, puis, elles se transforment en brun verdâtre quand ils sont mûris (**Kaur & Arora, 2010**).



Figure 1. *Foeniculum vulgare* (**Badgujar et al., 2014**).

2. Classification

Le tableau 01 montre la classification botanique de *Foeniculum vulgare*

Tableau 1 .Classification taxonomique de Foeniculum vulgare (Abou El-Soud et al .,2011) .

| Rang taxonomique | Nomenclature |
|------------------|-------------------------|
| Règne | Plantae |
| Ordre | Apiales |
| Famille | Apiaceae (Umbelliferae) |
| Genre | Foeniculum |
| Espèces | Vulgare |
| Nom binomial | Foeniculumvulgare Mill |

Le fenouil (*Foeniculum vulgare*) est une plante appartenant à la famille des apiaceae (Abou El-Soud et al., 2011). Les Apiaceae (ou Ombellifères), riche en huiles essentielles (Amimaret al., 2001), comportant environ 434 genres et 3700 espèces. La plupart des espèces sont les herbes tempérées et aromatiques (Lim, 2013).

Le genre *Foeniculum* (fenouil) comme indiqué ci-dessus, appartient à la famille des Apiaceae, à l'ordre des Apiales et comporte trois variétés principales : *F. vulgarepipéritum* (Fenouil amer), *F. vulgaredulce* (Fenouil doux) et *F. vulgarezoricum* (Florence fenouil, ou finocchio) (Seidemann, 2005).

Le fruit de cette dernière variété mesure plus de 10cm et pese jusqu'à 400 g, il est formé par les feuilles basales qui ont grandi les uns avec les autres. Le fenouil doux développe généralement des graines très aromatiques et légèrement sucrées. Concernant les deux autres variétés de fenouil présentées précédemment elles sont considérées le plus souvent comme étant des plantes de jardin appréciées; le fenouil commun pousse également à l'état sauvage (Kothe, 2008).

3. Composés chimiques des graines de fenouil



Figure 2 . Graine de *Foeniculum vulgare* (Malinodo Biog-le N°1 du thé bio malindo.Fr)

La graine de fenouil est constituée d'au moins d'un dixième d'eau. Elle est riche en glucides (mucilages, sucres et amidon), mais également en lipides et protéines . Elle renferme aussi beaucoup de fibres et minéraux, principalement du K, Na, P et Ca (**Badgujar et al., 2014**).

C'est également une source de vitamines A, niacine, thiamine, riboflavine (Malhotra, 2012) en vitamine C (**Rather et al., 2016**) (Tableau 02) .

Dans le tableaux 2, les composées chimiques des graines de fenouil sont classées par les protéines, lipides, glucides, fibres, eau, vitamines, les minéraux et oligo-éléments

Tableau 2 . Composition chimique des graines de fenouil (**Rather et al., 2016**)

| | | |
|---|------------------------------|---------|
| Valeurs Nutritionnelles pour 1000 g | Energie (Kcal) | 31 Kcal |
| | Protéines | 1.24 g |
| | Lipides | 0.2 g |
| | Glucides | 7.29 g |
| | Fibres | 3.1 g |
| | Eau | 90.21 g |
| Vitamines et assimilés | Vitamines A et Provitamine A | 7 µg |
| | Béta carotène | 78 µg |
| | Thiamine (Vitamine B1) | 0.01 mg |

| | | |
|-----------------------------------|--|------------|
| | Riboflavine (Vitamine B2) | 0.032 mg |
| | Naicine (Vitamine B3 ou PP) en équivalent en racine totale | 1.56733 NE |
| | Naicine (Acide nicotinique) | 1.084 mg |
| | Acide pantoténique (Vitamine B5) | 0.225 mg |
| | Vitamines B6 | 0.079 µg |
| | Folates totaux | 149 µg |
| | Vitamine C | 12 mg |
| Minéreau et oligo- éléments | Potassium | 414 mg |
| | Phosphore | 50 mg |
| | Calcium | 49 mg |
| | Sodium | 52 mg |
| | Magnésium | 17 mg |
| | Fer | 0.73 mg |
| | Zinc | 0.2 mg |
| | Cuivre | 0.066 mg |
| | Manganèse | 0.191 mg |
| | Sélénium | 0.7 µg |

4. Composé bioactifs des graines de fenouil

Les proportions des constituants de l'huile essentielle des graines de fenouil dépendent des facteurs extrinsèque et intrinsèque comme : les conditions climatiques et environnementales, la saison de collection, l'étape de la maturation des fruits, les données génétiques, etc. D'après (Özcan&Akgül 2001 , Mimica-Dukic *et al.* 2003, Özcan *et al.* 2006, Singh *et al.* 2006, Pitasawat *et al.* 2007, Silano&Delbò 2008, Clarke 2008, et Kaur

&Arora 2010), quelque soit la variété de fenouil, les principaux constituants de l'huile essentielle des gaines de fenouil sont le Trans-anéthol, le Fenchone, l'Estragole et le Limonène.

Le trans-anéthol compte pour le goût d'anis, l'estragole fournit la douceur, alors que le fenchone donne le goût amer (**Stefanini et al., 2006a; Olle& Bender, 2010**). Le fenchone est un liquide sans couleur possédant une odeur et un goût piquants et camphrés, ce serait le constituant responsable des propriétés biologiques, par conséquent seulement les variétés de fenouil contenant une bonne proportion de fenchone conviennent pour exploiter leurs activités biologiques (**Vienna et al., 2005**).

D'autres hydrocarbures monoterpéniques sont également présents en proportions mineurs : l' α et le β fenchène, l' α -pinène, le camphène, le sabinène, le terpinolène, le δ -3-carène, les α et β phellandrène, le cis et le transocimène, le limonène ; le linalol ; le camphre ; le terpin-1-én-4-ol; le foeniculine ; l' α -terpinéol, l'aldéhyde anisique, etc. (**Garnéro, 1996; Silano&Delbò , 2008; Clarke, 2008; Chowdhury et al., 2009; Ebeed et al., 2010**).

Les polyphénols- Composé phénoliques

La teneur en composés phénoliques totaux dans les graines de *Foeniculum vulgare* a été déterminée à $21,712 \pm 3,60$ mg d'équivalent en acide gallique par gramme de graines de fenouil par (**Pandey et al., 2012**) et à $1,651 \pm 0,114$ mg/g par (**Souri et al., 2008**). Les principaux composés phénoliques présents dans la graine de fenouil sont la quercétine, l'acide rosmarinique, l'apigénine, ainsi que l'acide chlorogénique, l'acide férulique-7-o-glucoside et l'acide p-coumarique en plus faibles quantités (**Badgujar et al., 2014**) .

5. Intérêt santé

Le bulbe, les feuilles et les graines de la plante de fenouil sont des sources potentielles de différents nutriments et donc tous sont largement utilisés à la fois cru et cuit dans les plats d'accompagnement, les salades, pâtes, préparations de légumes, saucisses, etc. Le bulbe de fenouil cru contient des hydrates de carbone, fibres alimentaires, protéines, complexe de vitamine B, vitamine C et minéraux .La plante de fenouil aromatique est utilisée comme plante potagère. Elle est populairement utilisée comme épice et comme légume, ayant de nombreuses applications à but aromatique et culinaire (**Farrell, 1999**). Lagraine de fenouil

séchée est une épice aromatique, anisée, marron ou de couleur verte lorsqu'elle est frais, tournant lentement en gris terne avec l'âge des graines (**Grieve, 1931**).

Le fenouil est une source de fibres, qui peut aider à réduire le taux de cholestérol. Les feuilles sont aussi utilisées en cuisine, elles présentent une bonne activité antioxydante. Les graines, qui ont un goût d'anis, sont utilisées comme épice et pour en extraire l'huile essentielle. Les fleurs et feuilles sont aussi utilisées pour leur coloration jaune-brune. (**Malhotra, 2012**)

Le fenouil présente de nombreux bienfaits et est utilisé pour soigner différentes pathologies, principalement gastro-intestinales, le diabète, les troubles respiratoires. Il est antioxydant, antiinflammatoire, antiseptique. Il présente également une activité hépatoprotectrice, oestrogène, diurétique, antispasmodique, analgésique et bien d'autres encore. Au niveau digestif, le fenouil agit comme stimulant, carminatif, anti-flatulent, stomachique, antiémétique, anti-colitique et est donc utilisé contre les douleurs gastriques, les constipations et diarrhées et contre les coliques. Il présente une activité antiseptique autant contre les bactéries que les champignons, les vers ou encore les virus. Il peut être utilisé par les patients diabétiques car il est hypoglycémiant et hypolipémiant. Le fenouil est également expectorant et est donc utilisé dans le cadre de troubles respiratoires. Son activité œstrogène favorise la sécrétion lactée des mammifères et est emménagogue. De par son action anti-inflammatoire, il est utilisé pour combattre l'arthrite.

Le fenouil permet aussi dans une certaine mesure de prévenir le cancer, grâce à ses activités cytoprotectrices et anti-mutagènes. Il joue également un rôle contre l'hirsutisme, qui est le développement d'une pilosité selon un type masculin chez la femme (**Kurian, 2012; Malhotra, 2012a; Badgujar et al., 2014; Kooti et al., 2015; Rather et al., 2016**).

Chapitre II : Aspect sur le yaourt

1. Généralités

Originaire d'Asie, le mot yaourt (yoghourt ou yogourt) provient de « yoghurmark » qui signifie « épaissir » (**Tamine et Deeth, 1980**).

Les écrits les plus anciens relatifs aux yaourts sont attribués à Pline l'Ancien, celui-ci ayant remarqué que certaines tribus savaient « épaissir le lait en une matière d'une agréable acidité ». Il existe des preuves de l'existence de produits laitiers fermentés dans un but alimentaire depuis au moins le III^e millénaire av. J.-C (**Lablondele, 2007**).

Dans le sillage des découvertes de Louis Pasteur sur la fermentation lactique, de nombreux chercheurs s'intéressent aux micro-organismes présents dans le lait. En 1905, le Bulgare Stamen Grigorov a découvert, la bactérie *Lactobacillus bulgaricus* qui donne l'acidité au yaourt (**Lablondele, 2007**).

Les yaourts et les produits fermentés frais, identifiés comme aliments bénéfiques pour la santé, sont aujourd'hui des produits de grande consommation. Ainsi, selon une enquête du Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière, la production de yaourt et d'autres laits fermentés ne cesse de croître. La dynamique actuelle de ce marché oblige donc les industriels à formuler sans cesse de nouveaux produits laitiers frais (**Enkelejda, 2004**).

2. Définition

D'après le *Codex Alimentaires*, le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation lactique grâce à l'action de *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* (*Lb. Bulgaricus*) et de *Streptococcus salivarius*, sous-espèce *thermophilus* (*St. Thermophilus*) à partir du lait frais ainsi que du lait pasteurisé (ou concentré, partiellement écrémé, enrichi en extrait sec) avec ou sans addition de substances (lait en poudre, poudre de lait écrémé, les protéines lactosériques concentrées ou non, la caséine alimentaire ...etc.). Les micro-organismes du produit final doivent être viables et abondants.

La législation de nombreux pays exige que les bactéries du yaourt soient vivantes dans le produit mis en vente. Certains pays néanmoins admettent qu'à la suite d'un traitement thermique destiné à améliorer la durée de conservation, le produit ne contienne plus de

bactéries vivantes. Cette pratique n'est toutefois pas recommandable, car elle modifie les propriétés du yaourt.

3. Types de yaourt

Il existe plusieurs variétés de yaourt qui diffèrent par leur composition chimique, leur technologie de fabrication ainsi que leur saveur.

Le tableau 3 résume les différentes catégories de yaourt (**Vignola, 2002**)

Tableau 3 . Les catégories de yaourt (**Vignola, 2002**) .

| types | caractéristiques |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Selon la teneur en matière grâce : - Yaourt entier - Yaourt partiellement écrémé - Yaourt écrémé | <p>MG minimum 3%</p> <p>MG moins de 3% et plus de 0,5%</p> <p>MG maximale 0,5%</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Selon la technologie de fabrication: - Le yaourt étuvé ou ferme - Le yaourt brassé - Le yaourt à boire | <p>Ce sont des yaourts naturels ou aromatisés, qui ont une texture ferme à surface lisse incubé et refroidi en pot.</p> <p>Il présente une texture presque fluide. Amené à une consistance crémeuse après coagulation, incubé en cuve et refroidi avant le conditionnement.</p> <p>Similaire au type brassé mais dont le coagulum est réduit à l'état liquide avant conditionnement.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Selon les additifs alimentaires : - Yaourt aromatisé - Yaourt fruité - Yaourt light | <p>Addition d'arôme.</p> <p>Addition de fruit.</p> <p>Addition d'édulcorant sans sucre.</p> |

4. Technologie de fabrication

Les étapes de fabrication (résumées sur la figure n°3) peuvent différer selon le produit fini.

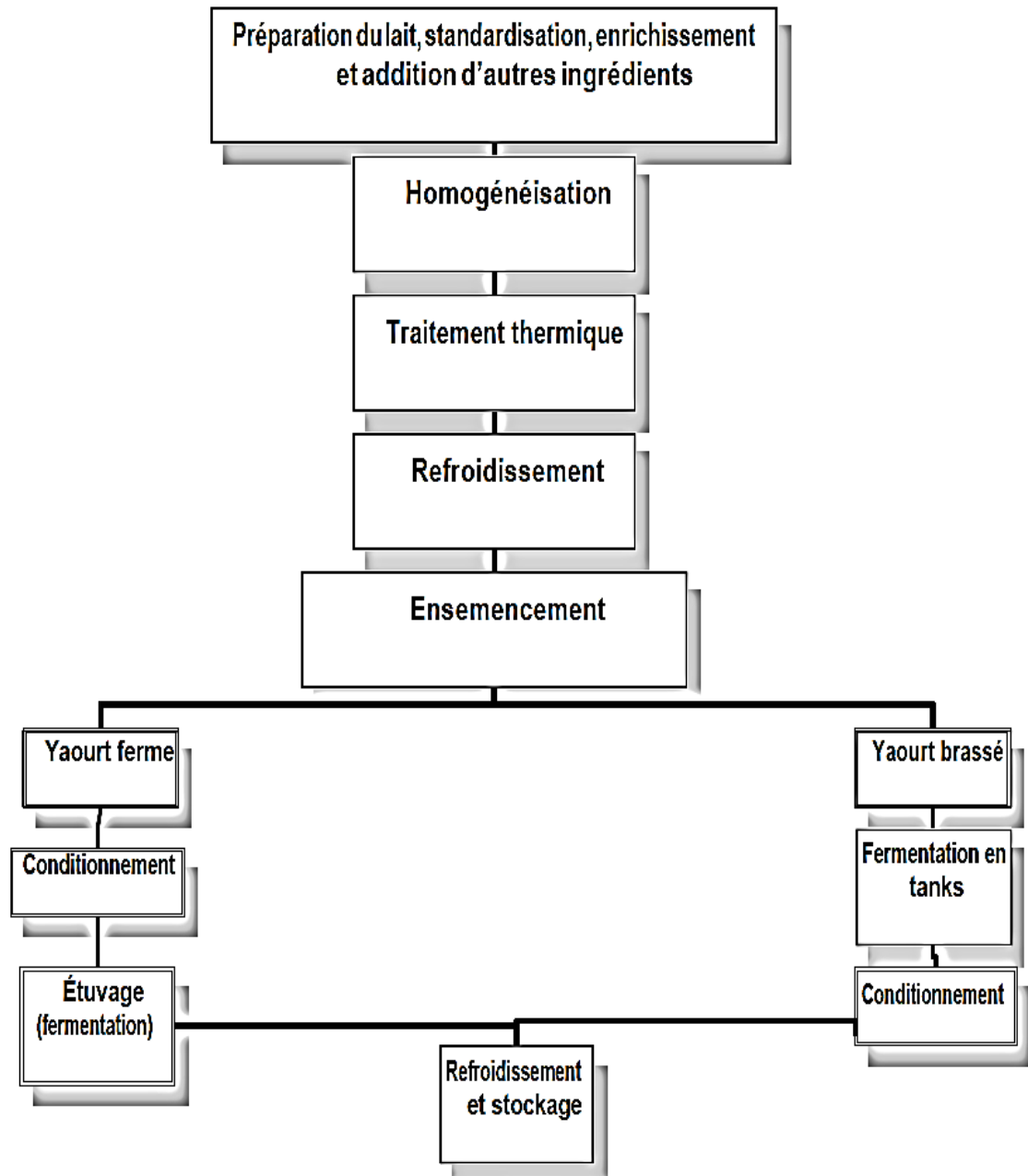


Figure 3. Diagramme des principales étapes de la fabrication du yaourt

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

4.1. Standardisation du mélange

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 peuvent différer selon qu'on a affaire à un yaourt «étuvé » dont la fermentation se fait après conditionnement en pots et le yaourt « brassé », dont la fermentation se fait en cuve. Le coagulum obtenu dans ce dernier cas est dilacéré et brassé pour être rendu plus ou moins visqueux, puis conditionné en pots. Globalement, nous distinguons dans le processus d'élaboration les étapes énumérées ci- dessous (**Schmid *et al.*, 1994**).

La teneur en matière grasse du yaourt est variable. Généralement, 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 ;

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. Selon le Code des recommandations FAO/OMS (1975), la teneur minimale en matière sèche laitière non grasse doit être de 8,2% (en poids) quelle que soit la teneur en matière grasse.

4.2. Traitement thermique

La préparation du lait terminée, celui-ci est soumis alors à un traitement thermique de pasteurisation 94 à 96°C pendant 3 à 5 minutes. Ce traitement a pour but de :

- détruire les micro-organismes pathogènes pouvant être présents et la plus grande partie de la flore banale. Il permet aussi la suppression éventuelle d'inhibiteurs naturels et la stimulation des bactéries par l'apparition de facteurs de croissance ;
- provoquer un dépolissement par dénaturation partielle des protéines solubles et leur fixation sur les caséines. Cet effet a pour conséquence d'augmenter les capacités de rétention d'eau du yaourt entraînant la modification des propriétés rhéologiques du coagulum acidifié.

Le caillé devient plus ferme et la tendance à l'expulsion du sérum au cours du stockage est réduite. Avec ce traitement, le yaourt brassé présente une structure plus homogène et visqueuse (Carole et Vignola, 2002).

Immédiatement après le traitement thermique, le lait reconstitué est refroidi à une température de 6°C puis stocké dans des tanks pour être, par la suite ensemencé.

4.3.Ensemencement

Il se fait à l'aide d'un levain comprenant exclusivement chacune des deux bactéries spécifiques du yaourt : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. Une bonne agitation est nécessaire pour rendre parfaitement homogène le mélange lait/ferment.

4.4.Fabrication du levain lactique

Le levain étant utilisé plusieurs fois, le fabriquer est une solution économique. Cette technique est uniquement conseillée pour le producteur fermier qui fabrique des yaourts tous les jours en grande quantité (3000 pots par cycle). Elle nécessite, pour être mise en oeuvre avec succès, des compétences suffisantes et des équipements adaptés. En effet, les contraintes de travail sont fortes pour obtenir des ferments purs et pour ne pas introduire de microbe indésirable. Le levain est préparé à partir de ferments « semi-directs » achetés chez un fournisseur (sachet en poudre) mélangés avec du lait demi-écrémé stérilisé. Le producteur fermier doit disposer d'un local séparé, protégé du reste de l'atelier, et de matériels de laboratoire (fiolle, bain-marie, éprouvette, pH mètre, acidimètre) (Ghalem, 2014).

4.4.1.Conservation du levain

Les ferments lactiques sont souvent conservés à une température inférieure à 10 °C en état liquide dans le lait reconstitué après inoculation à 30°C pendant 16 à 18 heures ou à 42°C pendant 3 à 4 heures. Egalement ces bactéries peuvent être conservées par congélation dans l'azote liquide à (-196°C) ou par usage d'un cryoprotecteur comme le glycérol à (-40°C) (Ghalem, 2014).

4.4.2.Rôle et propriétés des levains lactiques

La première fonction des levains lactiques est d'assurer la fonction d'acide lactique à partir de lactose.

Les principales aptitudes demandées aux bactéries lactiques sont à des niveaux divers selon les produits :

Production d'acide lactique et abaissement de pH du milieu.

Production de substances aromatiques (diacétyl, acétaldéhyde ...ect).

Production d'enzymes protéolytiques contribuant à l'affinage des fromages.

Production des substances visqueuses améliorant la texture des produits.

Abaissement du pH des milieux jouant un rôle de protection par inhibition des microorganismes nuisibles comme ceux responsables de la putréfaction (**Ghalem, 2014**).

4.5.Réchauffage

Le lait reconstitué ainsiensemencé est amené à une température généralement voisine de 45°C par passage à travers des réchauffeurs à plaques. La température optimale de développement de Streptocoque est de 42-45°C ; celle du Lactobacille de 47-50°C.

Selon les régions, les consommateurs préfèrent des yaourts plus ou moins acides et plus ou moins aromatiques. Les caractères recherchés dépendent des souches utilisées et de la température d'incubation. En abaissant celle-ci de 1 à 3°C (42-44°C), on favorise le développement du streptocoque et donc la production d'arôme. En l'augmentant légèrement (45-46°C), on favorise le lactobacille et donc la production d'acide (**Schmidt *et al.*, 1994**).

4.6. Etuvage / brassage

Selon la nature du yaourt à fabriquer, on procède soit à une incubation au niveau des chambres chaudes (dans le cas du yaourt ferme) ou à une fermentation dans la cuve (cas du yaourt brassé) :

4.6.1.Phase d'incubation (étuvage)

Dans le cas des yaourts étuvés, le laitensemencé est rapidement réparti en pots en plastique (poly-vinyl). L'apport des additifs se fait avant le remplissage des pots.

Après le capsulage, les pots sont acheminés vers une chambre chaude pour incubation qui dure environ 2 à 3 heures. L'acidification dépend de la température et de la durée d'incubation. Les pots sont maintenus dans l'étuve jusqu'à l'obtention d'une acidité de 0.75 à

1% environ d'acide lactique soit 75 à 100°D. Le caillé obtenu dans ces conditions doit être ferme, lisse et sans exsudation de sérum.

Une fois l'acidité attendue est atteinte, les pots de yaourt sont alors sortis des locaux d'étuvage, refroidis le plus rapidement possible à la température de +4°C, ce qui a pour but d'arrêter l'acidification par inhibition des bactéries lactiques. Les pots sont ensuite stockés à cette température pendant 12 à 24 heures de façon à augmenter la consistance du produit sous l'effet du froid. (Tamime, 1999).

4.6.2.Brassage

En vue de fabriquer des yaourts brassés, le laitensemencé est maintenu en cuve à la même température que dans les pots (entre 42 et 46°C) jusqu'à obtention de l'acidité voulue

On procède par la suite au découpage et au brassage du caillé pour le rendre onctueux ; il doit être réalisé avec précaution en optant par l'un des procédés suivants :

- agitation mécanique à l'aide d'un brasseur à turbine ou à hélice;
- passage du gel à travers un tamis;
- homogénéisation à basse pression.

Une fois ce traitement opéré, le caillé est immédiatement et rapidement refroidi à une température inférieure à 10°C. Le yaourt est ensuite conditionné en pots et conservé entre 2 et 4°C. L'addition éventuelle d'arômes, de pulpes de fruits, etc., se fait au moment du remplissage des pots (Courtin *et al.*, 2002 ; Ngounou *et al.*, 2003).

5. Intérêt santé de yaourt

L'acide lactique est légèrement antiseptique. Cette acidité inhibe surtout le développement de germes pathogènes dans le tube digestif du consommateur.

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

Streptococcus thermophilus semble aussi empêcher l'implantation de certaines bactéries pathogènes dans l'intestin telle que les Salmonelles et les colibacilles. Cependant, les

bactéries du yaourt ne s'implantent pas dans la flore intestinale. C'est pourquoi, pour maintenir leurs effets bénéfiques, un apport régulier est nécessaire.

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

Partie 02 :
Etude Méthodologique

1. Objectifs

De manière générale, l'objectif de cette étude expérimentale consiste à atteindre de 2 points essentiels :

- Procéder à une extraction hydroéthanolique des principaux composés bioactifs de la graine objet de l'étude à savoir les graine de *Foeniculum vulgare*.
- Des essais d'incorporation d'extrait riche en composés phénoliques des graine de fenouil à différentes doses dans la fabrication d'un yaourt étuvé ont été ensuite entrepris et ce en vue de suivre leurs effets sur la stabilité et la qualité des produits transformés (laits fermentés) durant 21 jours de stockage au froid à 4 °C.

2. Région de prélèvement et traitements préliminaires du matériel végétal

Le matériel végétal objet de l'étude (Les graines de *Foeniculum vulgare*) a été prélevé dans la région d'Ain Defla.

La matière végétale a été étalée sur du papier journal, puis séché à l'air ambiant. Les échantillons séchés ont été enfin broyés dans un broyeur à lame de cuisine puis mis dans des bocaux hermétiques et conservés à sec (température ambiante) et à l'abri de l'humidité ainsi que de la lumière.

3. Extraction des composés bioactifs par usage du méthanol

On a utilisé la méthode décrite par (Sultanaet al., 2009) pour l'extraction des principaux composés bioactifs contenus dans (les graines de *Foeniculum vulgare*) . Cette méthode d'extraction n'est qu'un procédé d'extraction discontinu solide-liquide par macération et qui consiste à laisser tremper le solide dans un solvant à température ambiante durant quelques temps et à extraire les constituants solubles par évaporation du solvant sous vide.

L'extraction des composés bioactifs de la plante a été réalisée par usage de l'éthanol aqueux comme solvant d'extraction. Elle a été effectuée sur une prise d'échantillons de 30 g de matière végétale qui a été mélangé avec (3 x100ml) de solvant aqueux (80/20, solvant/eau, v/v). L'extraction par macération à froid du mélange a été laissée ensuite se poursuivre pendant 6 heures à température ambiante sous agitation. La durée de l'extraction favorisera

ainsi la dépolymérisation des principaux composés constitutifs de la plante tels que la lignine ainsi que les substances pectiques et permet une meilleure solubilisation des principaux composés bioactifs.

En utilisant un papier filtre whatman N°3 ayant une porosité de $0,3\mu\text{m}$ pour filtré notre extrait filtré et débarrassé ensuite du solvant par évaporation sous vide à 45°C (figure 04 et 05).



a . l'extrait de fenouil par macération b . Evaporation du solvant sous vide par Rota vapeur

Figure 4 . Méthode d'extraction des composés phénoliques de *Foeniculum vulgare*

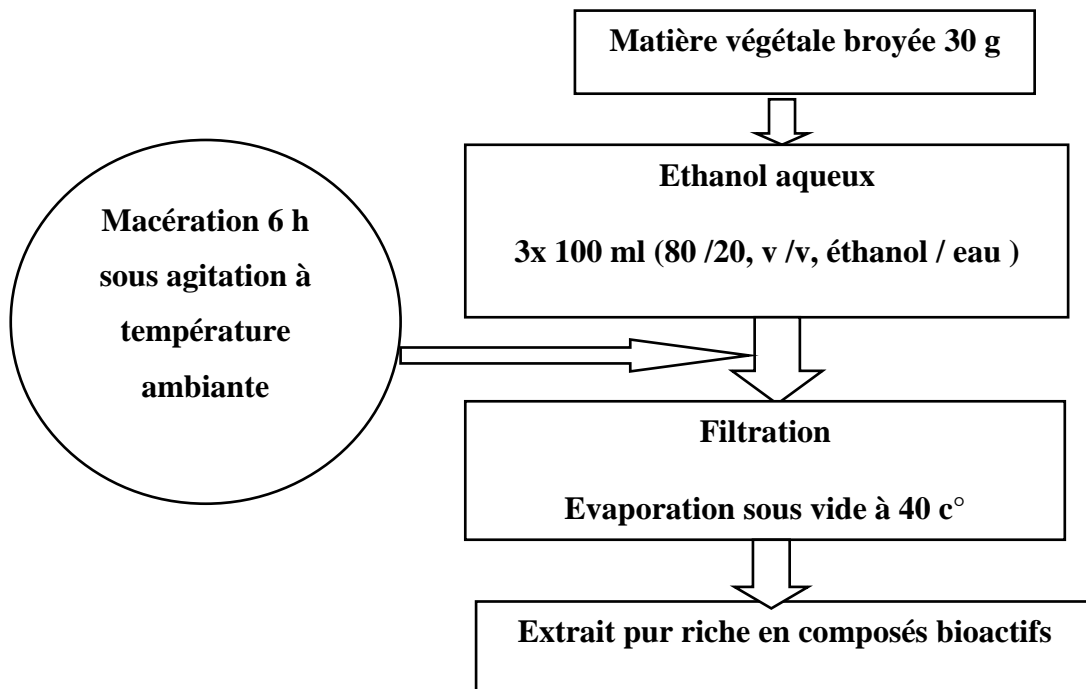


Figure 5 . Processus d'extraction des composés bioactifs (Sultana et al., 2009).

4. Essai de fabrication d'un lait fermenté étuvé enrichi d'extraits des graines de *Foeniculum vulgare*

Le lait cru destiné à la fabrication des laits fermentés expérimentaux type yaourt est un lait pasteurisé fabriqué par l'unité GIPLAIT de Mostaganem. L'extrait pur à l'éthanol aqueux de la graine de *Foeniculum vulgare* récolté dans la région de Ain Defla -Algérie a été incorporé au cours du procès de fabrication d'un lait fermenté type yaourt étuvé (directement dans le lait cru pasteurisé refroidi et maintenu chauffé à 45 °C) à des taux variables de 0, 6, et 8%, respectivement. Les échantillons de lait enrichis d'extrait de la graine de *Foeniculum vulgare* a été par la suiteensemencés avec les souches spécifiques du yaourt à un taux de levains de 3% et à un rapport de souches *Streptococcus thermophilus*(St) sur . (Lb) de 2St/1Lb (V/V). Aucun additif pouvant masquer les caractéristiques organoleptiques et rhéologiques n'a été ajouté aux produits transformés , ni saccharose, ni arôme et ni autre additif quelconque.

Chaque concentration d'extrait étudié a été représenté par un nombre de répétitions de trois pots d'une capacité de 100ml de produit finis; soit un nombre total de 09 échantillons expérimentaux.

5. Technologie de fabrication des laits fermentés expérimentaux

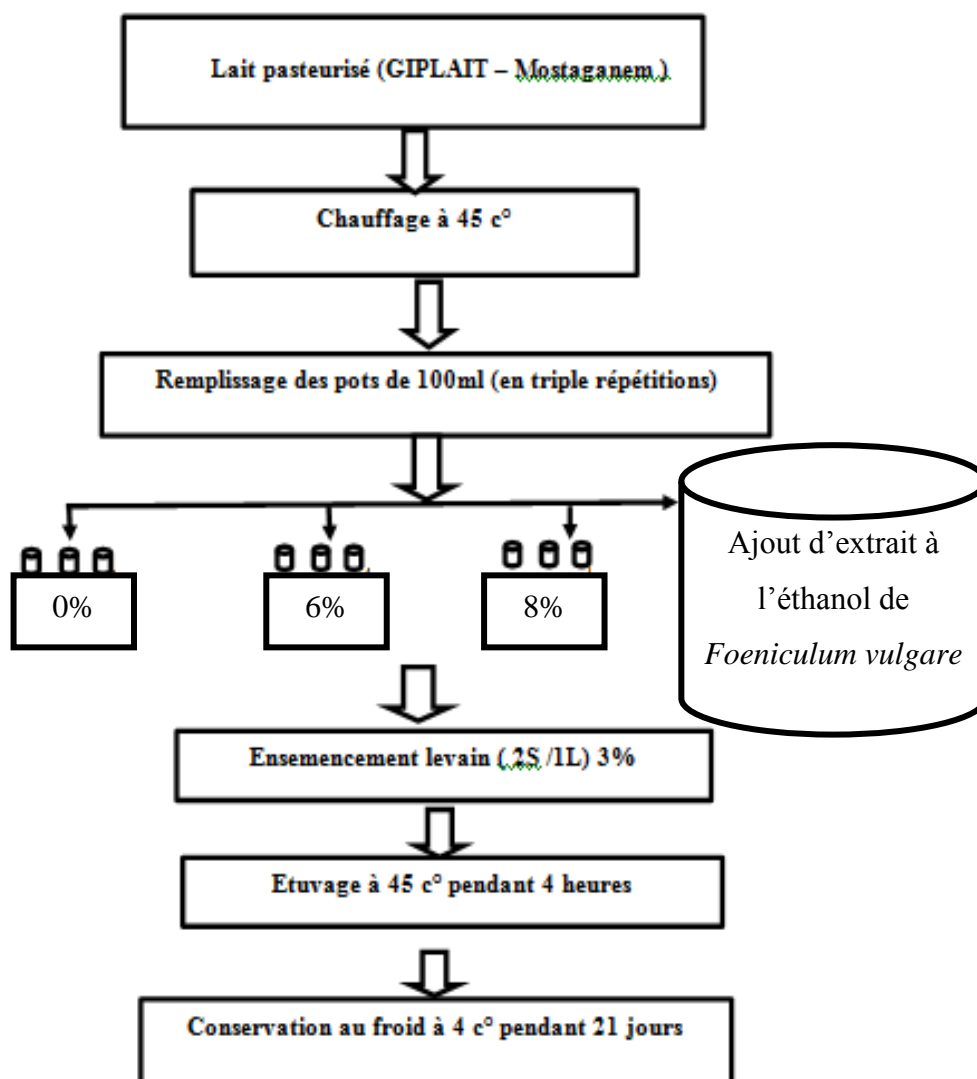


Figure 6 . Diagramme de fabrication des laits fermentés expérimentaux .

6. Préparation du levain

Dans la préparation du ferment on a besoin de mettre 750 ml de lait pasteurisé. Ensuite le lait maintenu chauffé à 45°C a étéensemencé avec 0,5 g d'une prise de souches lactiques lyophilisées pures de *Streptococcus thermophilus* et 0,25 g d'une souche pure de *Lactobacillus bulgaricus*. Le laitensemencé aux deux ferments spécifiques du yaourt a été enfin étuvé à 45°C pendant 1 heure. Le levain prêt a l'emploi avec un rapport de souches de 2 *Streptococcus thermophilus* pour 1 *Lactobacillus bulgaricus* (2S/1L, v/v) a étéensemencé dans les laits destinés à la fabrication des yaourts expérimentaux à un taux de 3% (Figure 07).

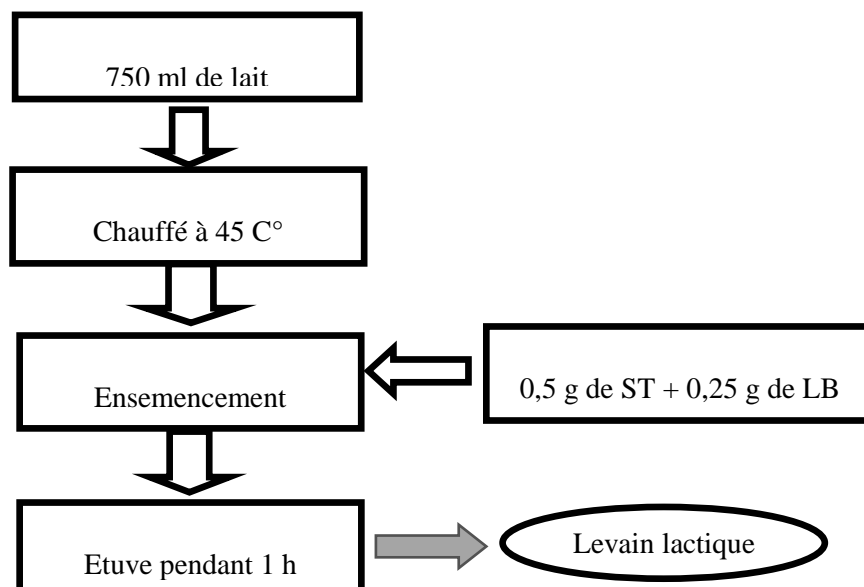


Figure 7. Diagramme de la fabrication du levain

7. Mesures et contrôles sur les laits fermentés

Les analyses expérimentales ont été réalisées durant la période de post acidification au 1^{er}, 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de stockage des produits expérimentaux au froid positif de 4°C.

7.1 Analyses physicochimiques

7.1.1 Acidité

L'acidité du yaourt a été déterminée d'une façon précise par titrage de 10 ml d'une prise de yaourt à l'aide d'une soude caustique NaOH préparée à 1/9N en présence de 4 à 5 gouttes de phénolphaléine (**Figure 08**) .



Figure 8. Titration de l'acidité

7.1.2 pH

Le dosage du pH a été réalisé par un pH-mètre étalonné par 2 solutions ; l'une acide et l'autre basique (**Figure 09**).



Figure 9 .pH-mètre

7.1.3 Viscosité

La viscosité a été mesurée par l'utilisation d'un tube en verre de diamètre égale à 2 cm et de 18 cm de longueur, équipée d'un chronomètre et d'une bille normalisée.

Le yaourt est défini comme un fluide viscoélastique. Il possède donc à la fois les propriétés visqueuses d'un liquide et les propriétés élastiques d'un solide. Le comportement rhéologique du yaourt est de type non newtonien, dans ce sens ou la viscosité du produit dépend de la vitesse de cisaillement ou de la contrainte exercée. La viscosité est déterminée comme suit :

$$\mu = K \cdot (\xi_{\text{bille}} - \xi_{\text{yaourt}}) \cdot t \quad K = 2 \cdot r^2 \cdot g / 9 \cdot x$$

$$\text{Donc : } \mu = (2r^2 \cdot g / 9x) \cdot (\xi_{\text{bille}} - \xi_{\text{yaourt}}) \cdot t$$

μ : viscosité dynamique (Kg/ms)

K : constante, tel que $k = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

ξ_{bille} : la masse volumique de la bille = 6400 kg/m^3

ξ_{yaourt} : la masse volumique de yaourt (kg/m^3).

t : temps parcouru pour la bille entre deux points A et B.

r : rayon de bille tel que. $r = D/2 = 0.85 \text{ cm}$

x : la distance d'écoulement de la bille, $x = 12 \text{ cm}$

g : la force de pasteur, tel que $g = 9.81 \text{ m/s}^2$



Figure 10. Dosage de la viscosité

7.2 Analyses microbiologiques

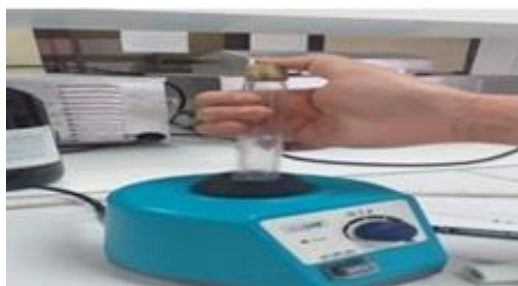
Une prise d'essai de 5g du lait fermenté a été additionnée à 45ml d'eau physiologique. Cette solution a constitué la première dilution (10^{-1}). Des dilutions décimales, allant jusqu'à (10^{-4}), ont été ensuite effectuées à l'eau physiologique.

7.2.1 *Streptococcus thermophilus*

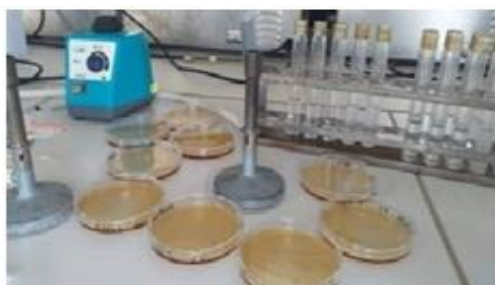
Le dénombrement des germes a été réalisé par culture d'une prise de dilution sur un milieu de culture sélectif « M17 » en surface, incubé à 45°C pendant 24 à 48 heures.

7.2.2 *Lactobacillus bulgaricus*

Le dénombrement des germes a été réalisé par culture d'une prise de dilution sur un milieu de culture sélectif «MRS » en profondeur, incubé à 45°C pendant 24-48 à 72 heures.



a .Flacons des milieux de culture b . Agitation des délutions décimales du yaourt par vortex



c .Ensemencement

Figure 11 . Matériels utilisés pour le dénombrement des germes *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* des laits fermentés

7.3 Test organoleptique

Chaque 7 jours durant toute la période de poste acidification, la qualité des laits fermentés expérimentaux a été évaluée par un jury composé de 10 panelistes, qui ont apprécié selon une échelle de notation variable de 1 à 10 les produits selon les critères suivants :

- **Goût acide** : Consiste à apprécier l'ampleur de l'acidité développée par les germes lactiquesensemencées dans les laits fermentés type yaourt au cours de l'entreposage.
- **Goût de fraîcheur** : Consiste à apprécier l'ampleur de la sensation de fraîcheur lors de la mise en bouche du produit.
- **Cohésivité**: Consiste à déterminer la capacité maximale de déformation de l'échantillon avant de se rompre lorsqu'il est écrasé entre les doigts.
- **Adhésivité** : Exprime l'intensité des forces inter faciales développées entre la surface d'une cuillère et celle de l'échantillon lors d'une prise de produit.
- **Couleur** : Consiste à apprécier l'ampleur de la couleur blanchâtre visuelle du produit.
- **Arrière-goût** : Exprime l'ampleur d'amertume ressenti lors de la mise en bouche des produits.

8. Traitement statistique

Les résultats paramétriques ont été traités statistiquement par une analyse de variance bifactorielle en randomisation totale, suivie d'une comparaison des moyennes deux à deux selon le test de NEWMAN et KEULS. Par contre, les données relatives aux tests organoleptiques ont été analysées statistiquement par le test non paramétrique de Friedman.

Le logiciel de traitement des données utilisées dans cette étude est le STAT BOX 6.4. La signification du facteur étudié a été démontrée aux deux seuils de probabilités $p < 0,05$ et $p < 0,01$.

Partie 03 : Resultat et discussion

1. Résultats

1.1. Analyses physicochimiques

1.1.1. Acidité

Durant l'expérimentation, l'acidité des laits fermentés a connu une variation très significatives ($p < 0.01$) ; avec une valeur qui a diminué de 84.22°D au 1^{er} jour à 80.80°D au 7^{ème} jour , puis la teneur moyenne a augmenté à nouveau à 91.89°D au 14^{ème} jour pour enfin diminuer à environ 89.89°D au 21^{ème} jour d'entreposage .

En fonction des doses d'extrait de *Foeniculum vulgare* incorporées de 0, 6 et 8 % dans les laits fermentés l'acidité a tendance à diminuer remarquablement ($p < 0.05$) de 95 à 42, à 89 et à 75.75°D en moyenne, respectivement (**Tableau 4**).

1.1.2. pH

Le pH des laits fermentés expérimentaux a enregistré une nette augmentation ($p < 0.01$) de 4.21 à 4.44°D du 1^{er} jour au 7^{ème} jour de stockage, suivie d'une baisse importante ($p < 0.01$) à 4.02 au 14^{ème} jour et d'une hausse ($p < 0.01$) à 4.18°D au 21^{ème} jour.

Apparemment, ces valeurs de pH sont d'autant plus augmentées ($p < 0.01$) de 4.05 à 4.25 et à 4.33°D que l'apport en extrait hydroéthanolique des graines de fenouil riche en composés phénolique est augmenté respectivement de 0, à 6 et à 8% dans les produits (**Tableau 5**).

1.1.3. Viscosité

Jusqu'au 14^{ème} jour, la viscosité des laits fermentés expérimentaux a baissé ($p < 0.01$) de 1.66 à 1.21 Pa.s ; alors qu'en fin de stockage celle-ci a relativement augmenté à 4.441 Pa.s.

Par rapport aux doses d'extrait de fenouil incorporées, le témoin a accusé les forts ($p < 0.01$) résultats de viscosité par rapport aux laits fermentés supplémentés d'extrait hydroéthanolique de fenouil à 6 et 8% ; 1.66 vs 1.35 vs 1.36 Pa.s , en moyenne (**Tableau 6**).

Tableau 4 . Evaluation de l'acidité titrable (°D) des laits fermentés type yaourt étuvé supplémentés d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* au cours de la conservation.

| | | Périodes de conservation (jours) | | | | Périodes de conservation (n=12) | | | | Taux d'incorporation d'extrait de fenouil % (n=9) | | | Effets des facteurs étudiés | | |
|---|----|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------|
| | | 1 ^{er} J | 7 ^{ème} J | 14 ^{ème} J | 21 ^{ème} J | 1 ^{er} J | 7 ^{ème} J | 14 ^{ème} J | 21 ^{ème} J | 0% | 6% | 8% | Période de conservation F1 | Incorporation d'extrait de fenouil F2 | Int. F1XF2 |
| Taux d'incorporation d'extrait de fenouil % n=3 | 0% | 89.67 ^d ± 02.52 | 75.67 ^g ± 02.52 | 103.67 ^b ± 01.53 | 112.67 ^a ± 2.52 | | | | | | | | p<0.01 | p<0.01 | p<0.01 |
| | 6% | 78.67 ^g ± 02.52 | 98.33 ^c ± 01.53 | 92.00 ^d ± 02.00 | 87.00 ^{ef} ± 02.00 | 84.22 ^b ± 02.06 | 80.89 ^c ± 01.94 | 91.89 ^a ± 01.61 | 89.89 ^a ± 01.1.89 | 95.42 ^a ± 01.97 | 89.00 ^b ± 01.74 | 75.75 ^c ± 01.84 | | | |
| | 8% | 84.33 ^g ± 02.08 | 68.67 ^h ± 02.52 | 80.00 ^g ± 02.00 | 70.00 ^h ± 02.00 | | | | | | | | | | |

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale a 03 (n=03) ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (taux d'incorporation de l'extrait de fenouil) ; Int F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; J : jour ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; a ,b , c <.....etc ; groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

Tableau 5. Evaluation du pH des laits fermentés type yaourt étuvé supplémentés d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* au cours de la conservation.

| | | Périodes de conservation (jours) | | | | Périodes de conservation (n=12) | | | | Taux d'incorporation d'extrait de fenouil % (n=9) | | | Effets des facteurs étudiés | | |
|---|----|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------|
| | | 1 ^{er} J | 7 ^{ème} J | 14 ^{ème} J | 21 ^{ème} J | 1 ^{er} J | 7 ^{ème} J | 14 ^{ème} J | 21 ^{ème} J | 0% | 6% | 8% | Période de conservation F1 | Incorporation d'extrait de fenouil F2 | Int. F1XF2 |
| Taux d'incorporation d'extrait de fenouil % n=3 | 0% | 04.13 ^f ± 0.04 | 04.16 ^{ef} ± 00.02 | 03.96 ⁱ ± 00.01 | 3.96 ⁱ ± 0.032 | 04.21 ^b ± 0.02 | 04.44 ^a ± 0.01 | 04.02 ^d ± 0.01 | 04.18 ^c ± 00.04 | 04.05 ^c ± 00.02 | 04.25 ^b ± 00.03 | 04.33 ^a ± 00.01 | p<0.01 | p<0.01 | p<0.01 |
| | 6% | 04.32 ^c ± 0.01 | 04.44 ^b ± 00.02 | 04.03 ^h ± 00.01 | 4.23 ^d ± 0.061 | | | | | | | | | | |
| | 8% | 4.18 ^e ± 0.01 | 04.73 ^a ± 0.02 | 04.08 ^g ± 00.01 | 4.34 ^c ± 0.01 | | | | | | | | | | |

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale à 03 (n=03) ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (taux d'incorporation de l'extrait de fenouil) ; Int F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; J : jour ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; a , b , c <.....etc ; groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

Tableau 6. Evaluation de la viscosité (Pa.s) des laits fermentés type yaourt étuvé supplémentés d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* au cours de la conservation.

| | | Périodes de conservation (jours) | | | | Périodes de conservation (n=12) | | | | Taux d'incorporation d'extrait de fenouil % (n=9) | | | Effets des facteurs étudiés | | |
|---|----|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------|
| | | 1 ^{er} J | 7 ^{ème} J | 14 ^{ème} J | 21 ^{ème} J | 1 ^{er} J | 7 ^{ème} J | 14 ^{ème} J | 21 ^{ème} J | 0% | 6% | 8% | Période de conservation F1 | Incorporation d'extrait de fenouil F2 | Int. F1XF2 |
| Taux d'incorporation d'extrait de fenouil % n=3 | 0% | 01.59 ^c ± 00.07 | 02.38 ^a ± 00.07 | 01.02 ^f ± 00.02 | 01.64 ^c ± 00.05 | 01.66 ^a ± 00.07 | 01.55 ^b ± 00.05 | 01.21 ^d ± 00.04 | 01.41 ^c ± 00.06 | 01.66 ^a ± 00.05 | 01.35 ^b ± 00.07 | 01.36 ^b ± 00.05 | p<0.01 | p<0.01 | p<0.01 |
| | 6% | 01.51 ^c ± 00.09 | 01.15 ^e _f ± 00.05 | 01.25 ^e ± 00.05 | 01.51 ^c ± 00.10 | | | | | | | | | | |
| | 8% | 01.87 ^b ± 00.08 | 01.13 ^e _f ± 00.02 | 01.36 ^d ± 00.06 | 01.08 ^f ± 00.04 | | | | | | | | | | |

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égale à 03 (n=03) ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (taux d'incorporation de l'extrait de fenouil) ; Int F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; J : jour ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; a ,b , c <.....etc ; groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

1.2. Analyses microbiologiques

Durant la période de post acidification, du 1^{er} à la fin de conservation au froid à 4°C après 21 jours de stockage, le nombre des germes spécifiques du yaourt est resté comparable dans les laits fermentés expérimentaux ($p>0.05$) ; 245.10^4 à 74.10^5 UFC /ml pour les *Streptococcus thermophilus* et 77.10^4 à 31.10^4 UFC /ml pour les *Lactobacillus bulgaricus* .

Il semble que l'ajout de l'extrait des graines de fenouil n'engendre aucune variation significative ($p>0.05$) de ces germes dont le nombre de *Streptococcus thermophilus* (286.10^4 à 57.10^5 UFC/ ml) et de *Lactobacllus bulgariccus* (120.10^4 à 169.10^4 UFC/ml) s'est avéré très proche entre les produits expérimentaux (**Tableau 7**).

1.3. Tests organoleptiques

1.3.1. Goût acide

Durant la période expérimentale, au 1^{er} comme au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de la période de post acidification , le lait fermenté additionné de 6 % d'extrait hydroéthanolique des graines de fenouil a été le mieux apprécié ($p<0.01$) par les panélistes au plan de l'acidité que le témoin (yaourt standard) ; avec des valeurs de somme des rangs respectives de 14 vs 24 , 14 vs 25 , 16 vs 19 et 15.5 vs 23.

Par ailleurs, comparativement au yaourt standard, l'ajout d'extrait de la plante à 8 % a engendré une nette ($p<0.01$) amélioration de l'acidité des produits notamment au 1^{er}, 14^{ème} et 21^{ème} jours d'entreposage ; 14 vs 24 , 21 vs 25 et 21.5 vs 23 somme des rangs , successivement.

Au 14^{ème} jour, le yaourt préparé avec le taux sévère de 8 % d'extrait de fenouil a été le moins apprécié ($p<0.01$) par les panélistes par rapport aux produits à 0 et 6 % d'extrait ; 25 vs 19 vs 16, somme des rangs (**Tableau 8**).

1.3.2. Goût frais

D'une façon générale, l'ajout d'extrait des graines de *Foeniculum vulgare* au yaourt à rehaussé sensiblement la sensation de fraîcheur chez les dégustateurs.

En effet , durant toute l'expérimentation, les meilleurs scores de fraîcheur ($p<0.01$) ont été obtenues avec le yaourt préparé à 6 % d'extrait, suivi du lait fermenté à 8 % ; alors que le témoin a accusé les résultats les plus médiocres ($p<0.01$) ; soit des sommes des rangs de 13 vs 17.5 vs 29.5 au 1^{er} jour , de 19 vs 24.5 vs 33.5 au 7^{ème} jour , de 12.5 vs 18.5 vs 29 au 14^{ème} jour et de 11 vs 22 vs 27 au dernier jour de stockage après 21^{ème} jours (**Tableau 9**).

Tableau 7 .Effets d'ajout de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgares* sur la croissance des germes lactiques spécifiques du yaourt au cours de la conservation.

| | Périodes de conservation (n=03) | | | | | | | | | | | | Périodes de conservation avec n= 09) | | | | Doses d'extrait de fenouil incorporées (%) avec n=12 | | | Effets des facteurs étudiés | | |
|--|--|---------------------|---------------------|--|---------------------|--------------------|--|--------------------|--------------------|--|---------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------|
| | 1 ^{er} jour | | | 7 ^{ème} jour | | | 14 ^{ème} jour | | | 21 ^{ème} jour | | | | | | | | | | Période de conservation F1 | Incorporation d'extrait de fenouil F2 | Int. F1XF2 |
| | Doses d'extrait de fenouil incorporées (%) | | | Doses d'extrait de fenouil incorporées (%) | | | Doses d'extrait de fenouil incorporées (%) | | | Doses d'extrait de fenouil incorporées (%) | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 6 | 8 | 0 | 6 | 8 | 0 | 6 | 8 | 0 | 6 | 8 | 1 ^{er} j | 7 ^{ème} j | 14 ^{ème} j | 21 ^{ème} j | 0 | 6 | 8 | | | |
| <i>Streptococcus thermophilus</i> (UFC/ml) | 136.10 ⁴ | 31.10 ⁵ | 39.10 ⁵ | 265.10 ⁴ | 248.10 ⁵ | 22.10 ⁴ | 193.10 ⁴ | 77.10 ⁵ | 80.10 ⁵ | 54.10 ⁵ | 81.10 ⁵ | 86.10 ⁵ | 282.10 ⁴ | 245.10 ⁴ | 58.10 ⁵ | 74.10 ⁵ | 286.10 ⁴ | 53.10 ⁵ | 57.10 ⁵ | P > 0.05 | P > 0.05 | P > 0.05 |
| <i>Lactobacillus bulgaricus</i> (UFC/ml) | 130.10 ⁴ | 165.10 ⁴ | 150.10 ⁴ | 75.10 ⁴ | 63.10 ⁵ | 94.10 ⁵ | 281.10 ⁴ | 76.10 ⁵ | 59.10 ⁵ | 44.10 ⁵ | 236.10 ⁴ | 105.10 ⁴ | 148.10 ⁴ | 77.10 ⁴ | 31.10 ⁵ | 262.10 ⁴ | 169.10 ⁴ | 118.10 ⁴ | 102.10 ⁴ | P > 0.05 | P > 0.05 | P > 0.05 |

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes, avec un nombre de répétitions n égale a 03 (n=03) ; F1 : facteur étudié (période de conservation) ; F2 : facteur étudié (taux d'incorporation de l'extrait de fenouil) ; Int F1XF2 : interaction des deux facteurs étudiés ; J : jour ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié.

Tableau 8 . Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur les variations du goût acide des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4 °C pendant 21^{ème} jours.

| | Taux d'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> incorporé (%) | | | Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> |
|------------------------------|---|-------------------|--------------------|--|
| | 0 % | 6 % | 8 % | |
| 1^{er} jour | 24 ^a | 14 ^b | 14 ^b | |
| 7^{ème} jour | 25 ^a | 14 ^b | 21 ^a | p<0.01 |
| 14^{ème} jour | 19 ^b | 16 ^b | 25 ^a | p<0.01 |
| 21^{ème} jour | 23 ^a | 15.5 ^b | 21.5 ^{ab} | p<0.05 |

Les résultats sont exprimé en somme des rangs , avec un nombre de panélistes n égale a 10 (n = 10) ; p<0.05 : effet significatif du facteur étudié (taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* dans le yaourt) ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié ; a ,b ,cetc . : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

Tableau 9. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur les variations du goût de fraîcheur des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21^{ème} jours.

| | Taux d'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> incorporés (%) | | | Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> |
|------------------------------|--|-------------------|-------------------|---|
| | 0 % | 6 % | 8 % | |
| 1^{er} jour | 29.5 ^a | 13 ^c | 17.5 ^b | p<0.01 |
| 7^{ème} jour | 33.5 | 19 | 24.5 | p>0.05 |
| 14^{ème} jour | 29 ^a | 12.5 ^c | 18.5 ^b | p<0.01 |
| 21^{ème} jour | 27 ^a | 11 ^c | 22 ^b | p<0.01 |

Les résultats sont exprimés en somme des rangs , avec un nombre des panéliste n égale à 10 (n = 10) ; J : jours ; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié (taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* dans le yaourt) ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié; a ,b ,cetc . : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

1.3.3. Cohésivité

Au 1^{er} jour de la période de post acidification, le lait fermenté additionné de 6 % d'extrait hydroéthanolique de fenouil a présenté une cohésivité plus élevée que le témoin (p<0.01) ; 14 vs 21.5 somme des rangs. En revanche, durant cette même période, l'ajout d'extrait à 8% ne

semble pas modifier la cohesivité des produits par comparaison au témoin ($p>0.05$) ; 24.5 vs 21.5, somme des rangs.

Au 7^{ème} jour de conservation à 4 °C, le lait fermenté préparé à 6 % d'extrait hydroéthanolique de fenouil a accusé une cohésivité comparable ($p>0.05$) au témoin (16 vs 15 somme des rangs). Ces valeurs ont été bien meilleures que celle du produit préparé à 8 % d'extrait qui a accusé un médiocre score (25 somme des rangs).

Au 14^{ème} jour de post acidification, les panélistes ont apprécié de la même manière la cohésivité des laits fermentés expérimentaux ou aucune différence n'a été décelée entre les produits ($p>0.05$) ; 17.5 à 21 somme des rangs.

Au terme de la période expérimentale, au 21^{ème} jour le témoin s'est démarqué par un meilleur ($p<0.01$) résultat (12.5 somme des rangs) que le yaourt à 6 % d'extrait (18 somme des rangs) et l'essai à 8 % (29.5 somme des rangs) (**Tableau 10**).

Tableau 10 .Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur les variations de la cohésivité des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21^{ème} jours.

| | Taux d'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> incorporé (%) | | | Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> |
|------------------------------|--|-----------------|-------------------|--|
| | 0 % | 6 % | 8 % | |
| 1^{er} jour | 21.5 ^a | 14 ^b | 24.5 ^a | p<0.01 |
| 7^{ème} jour | 15 ^b | 16 ^b | 25 ^a | p<0.01 |
| 14^{ème} jour | 17.5 | 19.5 | 21 | p>0.05 |
| 21^{ème} jour | 12.5 ^c | 18 ^b | 29.5 ^a | p<0.01 |

Les résultats sont exprimés en somme des rangs ; avec un nombre de panélistes n égale à 10 (n = 10) ; $p>0.05$: effet non significatif du facteur étudié (taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* dans le yaourt) $p<0.01$: effet significatif du facteur étudié; a ,b ,cetc . : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls

1.3.4. Adhésivité

Pendant les 21 jours de la période de post acidification et comparativement au témoin l'ajout de l'extrait de fenouil à 6 % a engendré une augmentation ($p<0.01$) de l'adhésivité des laits fermentés ; alors que son addition à 8% a réduit remarquablement ($p<0.05$) les valeurs de l'adhésivité des produits. En effet, en fonction des taux d'incorporations de l'extrait de

fenouil variables de 0 , à 6 et à 8% dans les produits, les valeurs d'adhésivité (exprimés en somme des rangs) décelées par les panélistes étaient respectivement de 20 vs 15 vs 25 au 1^{er} jour , de 21 vs 13 vs 26 au 7^{ème} jour , de 23.5 vs 13 vs 23.5 au 14^{ème} jour et de 18 vs 13.5 vs 28.5 au 21^{ème} jour (**Tableau 11**).

Tableau 11 .Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur les variations de l'adhésivité des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21^{ème} jours .

| | Taux d'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> incorporé (%) | | | Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> |
|------------------------------|--|-------------------|-------------------|--|
| | 0 % | 6 % | 8 % | |
| 1^{er} jour | 20 ^{ab} | 15 ^b | 25 ^a | p<0.01 |
| 7^{ème} jour | 21 ^a | 13 ^b | 26 ^a | p<0.01 |
| 14^{ème} jour | 23.5 ^a | 13 ^b | 23.5 ^a | p<0.01 |
| 21^{ème} jour | 18 ^b | 13.5 ^b | 28.5 ^a | p<0.01 |

Les résultats sont exprimés en somme des rangs ; avec un nombre des panélistes n égale à 10 (n = 10) ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* dans le yaourt) ; a ,b ,cetc . : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

1.3.5. Couleur

Le yaourt témoin a présenté une couleur blanchâtre (p<0.01) plus appréciable par les dégustateurs que les autres laits fermentés expérimentaux supplémentés d'extrait hydroéthanolique de *Foeniculum vulgare* à 6 et 8 % ; soit des sommes des rangs qui ont varié de 14.5 à 17 à 28.5 au 1^{er} jour , de 11 à 21 à 28 au 7^{ème} jour , de 11 à 20.5 à 28.5 au 14^{ème} jour et de 11 à 11 et à 29.5 au 21^{ème} jours d'entreposage a 4° C (**Tableau 12**).

Tableau 12. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur les variations de la couleur des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21^{ème} jours

| | Taux d'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> incorporé (%) | | | Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> |
|------------------------------|---|-------------------|-------------------|---|
| | 0 % | 6 % | 8 % | |
| 1^{er} jour | 14.5 ^b | 17 ^b | 28.5 ^a | p<0.01 |
| 7^{ème} jour | 11 ^c | 21 ^b | 28 ^a | p<0.01 |
| 14^{ème} jour | 11 ^c | 20.5 ^b | 28.5 ^a | p<0.01 |
| 21^{ème} jour | 11 ^b | 11 ^b | 29.5 ^a | p<0.01 |

Les résultats sont exprimés en somme des rangs ; avec un nombre des panélistes n égale à 10 (n = 10) ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* dans le yaourt) ; a ,b ,cetc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

1.1.6. Odeur

Au cours de la conservation , les dégustateurs ont trouvé que l'ajout de l'extrait de fenouil à 6 et 8 % améliore significativement (p<0.01) la sensation d'odeurs dégagées par les laits fermentés comparativement au yaourt témoin sans extrait de la plante ; soit des sommes des rangs qui ont varié respectivement de 11.5 vs 19.5 de vs 29 au 1^{er} jour , de 11.5 vs 18.5 vs 30 au 7^{ème} jour , de 12.5 vs 19 vs 28.5 au 14^{ème} jour et de 11.5 vs 22 vs 26.5 au 21^{ème} jour (Tableau 13).

Tableau 13. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur les variations de l'odeur des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21^{ème} jours .

| | Taux d'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> incorporé (%) | | | Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> |
|------------------------------|---|-------------------|-------------------|---|
| | 0 % | 6 % | 8 % | |
| 1^{er} jour | 29 ^a | 11.5 ^c | 19.5 ^b | p<0.01 |
| 7^{ème} jour | 30 ^a | 11.5 ^c | 18.5 ^b | p<0.01 |
| 14^{ème} jour | 28.5 ^a | 12.5 ^c | 19 ^b | p<0.01 |
| 21^{ème} jour | 26.5 ^a | 11.5 ^c | 22 ^b | p<0.01 |

Les résultats sont exprimé en somme des rangs ; avec un nombre des panéliste n égale à 10 (n = 10) ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* dans le yaourt) ; a ,b ,cetc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

1.3.7. Arrière goût

Aucune sensation d'arrière goût n'a été ressentie par les panélistes dans les laits fermentés expérimentaux préparés notamment à 6 % d'extrait hydroéthanolique des graines de fenouil qu'ils ont qualifié d'ailleurs de plus agréables ($p < 0.01$) que le témoin ; avec des sommes des rangs de 15 vs 25 au 1^{er} jour , de 17.5 vs 20 au 7^{ème} jour , de 16.5 vs 16.5 au 14^{ème} jour et de 16 vs 21 au 21^{ème} jour (**Tableau 14**).

Tableau 14. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur les variations de l'arrière goût des laits fermentés type yaourt étuvé au cours de la conservation au froid à 4°C pendant 21^{ème} jours

| Facteurs étudié | Taux d'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> incorporé (%) | | | Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Foeniculum vulgare</i> |
|------------------------------|--|-------------------|------------------|--|
| | 0 % | 6 % | 8 % | |
| 1^{er} jour | 25 ^a | 15 ^b | 20 ^{ab} | $p < 0.01$ |
| 7^{ème} jour | 20 | 17.5 | 22.5 | $p > 0.05$ |
| 14^{ème} jour | 16.5 ^b | 16.5 ^b | 27 ^a | $p < 0.01$ |
| 21^{ème} jour | 21 | 16 | 23 | $p > 0.05$ |

Les résultats sont exprimés en somme des rangs ; avec un nombre de panélistes n égale à 10 (n = 10) ; $p > 0.05$: effet non significatif du facteur étudié (taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* dans le yaourt) ; $p > 0.01$: effet hautement significatif du facteur étudié ; a ,b ,cetc . : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

2. Discussion

L'extrait aqueux éthanolique de *Foeniculum vulgare* contient de nombreux composés bioactifs bénéfiques pour la santé humaine dont les composés phénoliques qui ont démontré des activités antimicrobiennes avérées contre plusieurs microorganismes pathogènes et banaux tels *Staphylococcus aureus* et *Lactobacillus bulgaricus* (Madi, 2010).

L'ajout de cet extrait à effet antimicrobien dans le yaourt comme alternative naturelle aux additifs chimiques aux effets nocifs pour la santé, souvent utilisés frauduleusement comme les sorbates de potassium, constitue une idée très originale pour améliorer la durée de conservation et la qualité des produits transformés.

L'optimisation du taux d'extrait à incorporé pour laisser un maximum de bactéries probiotiques spécifiques du yaourt viables et le large éventail d'activités à effets bénéfiques pour la santé que revêt les principaux composés bioactifs constitutifs de la plante (antioxydants, anticancer, antiinflammatoire, antimicrobiens...etc.) (Madi, 2010) peuvent contribuer à la conception d'un nouveau produit alimentaire santé capable de satisfaire la demande des consommateurs. Cela pourrait, aussi, sans aucun doute attirer l'attention des scientifiques afin d'approfondir les connaissances sur l'impact santé des vertus exceptionnelles de cet extrait de *Foeniculum vulgare* riche en composés phénoliques combinée aux effets probiotiques de plusieurs autres souches bactériennes utilisées dans la fabrication des divers autres laits fermentés.

D'une manière générale, pendant toute la période de post acidification de 21 jours de conservation à 4°C, l'acidité a connu une augmentation remarquable ($p < 0.1$) de 84.22 à 89.89 °D et en fonction des élévations de 0, à 6 et à 8% de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* les valeurs ont tendance à diminuer ($p < .01$) respectivement de 95.42,

à 9 et à 75.75. Cette tendance à été inversée pour le pH ou les résultats enregistrés ont nettement diminué ($p < 0.01$) de 4.21 à 4.02 en fonction de la période de stockage ; alors qu'au contraire les valeurs ont rehaussés notablement ($p < 0.01$) de 4.05, à 4.25 et à 4.33 successivement avec l'augmentation des taux d'ajout de l'extrait bioactif de la plante.

Il est bien établi que la fabrication de yaourt est régit par les deux souches spécifiques *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus bulgaricus* qui travaillent en symbiose (Madi, 2010) afin de fermenter le lactose constitutif du lait et produire de l'acide lactique à l'origine des élévations de l'acidité titrable constatées au cours du stockage des laits fermentés expérimentaux. Ce phénomène de protocoopération débute par les *Streptococcus thermophilus* qui démarrent la fermentation lactique en utilisant les acides aminés libres contenus dans le milieu, ainsi que ceux libérés par l'accroissement des *Lactobacillus bulgaricus* jusqu'à atteindre un pH environnant de 4 ou leurs croissance est freinée et la production de lactate est ensuite relayée par les *Lactobacillus bulgaricus* plus acidotolérant qui achèvent la fermentation durant particulièrement la période de post acidification de conservation des produits au froid (Madi, 2010).

Ces germes ont marqué du début à la fin de stockage après 21 jours de légères accroissements ($p > 0.05$) ; de $282 \cdot 10^4$ à $740 \cdot 10^4$ UFC/ml et de $148 \cdot 10^4$ à $262 \cdot 10^4$ UFC/ml, respectivement. Ainsi ; les aptitudes conservées à continuer à croitre et donc à produire même légèrement du lactate au cours de la conservation des deux souches spécifiques du yaourt peuvent expliquer les élévations de l'acidité titrable remarquées dans les essais expérimentaux.

Cependant, les valeurs d'acidité enregistrées dans tous les produits n'ont pas dépassé au cours de toute la phase de post acidification la norme admise de 150 °D (Madi, 2010) dont la

DLC peut être donc augmenter à plus de 21 jours surtout dans les laits fermentés additionnés d'extrait hydroéthanolique de fenouil ayant présenté de faibles résultats par comparaison au témoin. Ces réponses sont dues probablement à l'action antimicrobienne (des composés bioactifs phénoliques ajoutés aux laits fermentés expérimentaux) exercée d'une manière sélective contre les germes spécifiques du yaourt et qui ont réduits légèrement leurs proliférations et leurs capacités à produire davantage de lactate dans le milieu. En effet, le nombre de *Lactobacillus bulgaricus* remarqué dans les produits additionnés à 6 et 8% d'extrait hydroéthanolique de *Foeniculum vulgare* est bien plus faible ($p > 0.05$) que le yaourt standard ($118 \cdot 10^4$ vs $102 \cdot 10^4$ vs $169 \cdot 10^4$ UFC/ml) ; alors que l'ajout de cet 'extrait de la plante semble agir comme pré-biotique et activer légèrement la prolifération des *Streptococcus thermophilus* dans les produits dont le nombre ont connu un surcroit ($p > 0.05$) de $286 \cdot 10^4$ à $57 \cdot 10^5$ UFC/ml.

Plusieurs études ont montré que les extraits du fenouil présentent des propriétés antibactériennes (**Singh & Kale, 2008**) contre notamment les agents pathogènes portés par les aliments comme *Escherichia coli*, *Bacillus megaterium* et *Staphylococcus aureus* (**Mohsenzadeh, 2007 ; Rather et al., 2012**). Il est aussi bien prouvé que le fenouil favorise un confort digestif grâce notamment à ses propriétés antimicrobiennes (**Kothe, 2008**). C'est un allié de choix pour combattre les troubles digestifs et les douleurs abdominales. Ces bienfaits sur la santé s'expliquent par la présence de divers composés phytochimiques bioactifs dans les graines de fenouil. D'après (**Jaganath et Crozier, 2010**) les acides phénoliques, y compris l'acide hydroxybenzoïque (C6-C1) et l'acide hydroxycinnamique (les dérivés de C6 -C 3), peuvent être présents dans le fenouil sous les formes solubles conjuguées avec des sucres ou des acides organiques, aussi bien que lié à des structures plus complexes telles que les tannins ou les lignines hydrolysables. Les

flavonoïdes représentent également une classe de métabolites secondaires largement répandus dans le règne végétal dont les graines de fenouil. **Lazouni et al. (2006)** ont montré aussi que les extraits aqueux et les extraits éthanolique des graines et des tiges de fenouil contiennent de faibles quantité de tanins. Selon **Girre (2006)**, le fenouil contient des hydrox coumarines (osthénol, scoparine et ombélliférone) et des furanocoumarines sous forme de trace (bergaptène, impérorine et psoralène). Selon (**Girre 2006**)le fenouil contient éventuellement des trimères de stilbènes et leurs hétérosides. Deux trimères de stilbènediglucoside (foeniculosides) et un dérivé de benzoisofuranone ont été isolés du fruit *de F. vulgare* (**Simona De Marino et al., 2007**) ainsi que le Miquélianine (**Parejo et al., 2004b**) , le cismiyabénol, le trans-miyabénol, le trans-resveratrol 3-O-β-Dglucopyranoside, le sinapyl glucoside et le syringin 4-O-β-glucoside (**Simona De Marino et al., 2007**).

A ce jour aucune étude à notre avis n'a dévoilé les effets antimicrobiens des extraits de cette plante riche en composés phénoliques vis-à-vis de certains germes bénéfiques dont les deux germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaticcus* spécifiques du yaourt. Il semble, toutefois, que l'ajout de d'extrait des graines de fenouil même à une forte concentration de 8% n'engendre aucune variation significative ($p > 0.05$) des germes spécifiques du yaourt dont le nombre est resté stable dans les produits expérimentaux à la norme admise de 10^6 germes vivants/ml (**Cachonet al., 1998**).

Apparemment, la viscosité des yaourts est en relation direct avec les quantité d'exopolysacchari des produits par surtout les *Streptococcus thermophilus* au cours de la phase de fermentation de nature glucane et fructane (**Madi, 2010**)et dans une moindre mesure par les *Lactobacillus bulgaticcus* qui sont plus ou moins actives au cours de la période de post acidification. Le renforcement des yaourts à l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* riche en composés phénoliques a abaissé d'une manière significative la

prolifération de ces deux bactéries et par voie de conséquence explique bien la réduction de leurs pouvoir à produire des exopolysaccharides responsables de la chute drastique de la viscosité des produits ; de 1.36 à 1.66 Pa s.

L'extrait des graines de fenouil est bien connu aussi pour sa forte activités antioxydante (**Mahmoudi et al., 2012**). A ce propos, une étude menée sur les espèces de fenouils sauvages (comestibles et médicinaux) dans plusieurs pays méditerranéens (**Ruberto et al., 2000 ; Rather et al., 2012**) a bien démontré que l'extrait alcoolique du *Foeniculumvulgare* L présente une forte activité antioxydante par la diminution du niveau du malondialdéhyde (**Ruberto et al., 2000 ; Rather et al., 2012**). Cette activité antioxydante et ses conséquences sur la fraction lipidique des produits additionnés ou non d'extrait des graines de fenouil devrait être abordée dans les prochaines études.

Les dégustateurs ayant participé à l'étude ont révélé que le lait fermenté préparé à 6% d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* L ont accusé de meilleurs critères sensoriels (acidité, fraîcheur, adhésivité, odeur et arrière goût) que les autres essais expérimentaux y compris le yaourt témoin. Par ailleurs, les panelistes ont mieux apprécié le produit préparé à 8% d'extrait au plan de l'acidité, la fraîcheur et l'odorat que le témoin standard.

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 (**Loones, 1994**). Parmi ceux-ci, l'acide lactique confère au yaourt son goût acidulé (**Schkoda et al., 1998 ; Van marle, 1998**) qui s'avère être produit à des teneurs suffisantes même à des taux sévères de 8% d'incorporation d'extrait de fenouil dans le produit. L'acétaldéhyde, le diacétyle, acétone, acétoïne, et bien d'autres composés aromatiques qui

semblent être produit normalement en présence d'extrait hydroéthanolique de fenouil par les *Lactobacillus bulgaricus* et les *Streptococcus thermophilus* ont contribué éventuellement à l'équilibre et à la finesse de la saveur des laits fermentés (Schkoda et al., 1998 ; Vanmarle, 1998).

Une baisse de cohésivité due sans doute à l'ajout de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* a été observée dans les laits fermentés expérimentaux comparativement au témoin. L'ajout de l'extrait de fenouil à effet antimicrobien a certainement réduit la prolifération des germes spécifiques du yaourt et de leurs facultés à produire des exopolysaccharides responsables de la viscosité et de l'onctuosité des produits. D'après les études réalisées sur le yaourt, la texture semble aussi dépendre de plusieurs autres facteurs dont la concentration en matière sèche (Schkoda et al., 1998 ; Van marle, 1998), la méthode d'enrichissement du lait (Tamime et al., 1984), le traitement thermique subi (Kessler, 1998) et enfin, la nature des souches bactériennes utilisées et de leur capacité à synthétiser différemment les exocellulaires (EPS) impliqués dans la viscosité du gel (Hassan et al., 1995). Apparemment, l'ajout d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* riche en composés phénoliques jusqu'à un seuil élevé de 8% n'entrave pas l'activité de la souche spécifique *Streptococcus thermophilus* à fermenter normalement le lactose du lait et à produire des quantités de lactate et d'exopolysaccharide suffisantes pour assurer une bonne coagulation et une viscosité adéquat au même titre que le témoin. Néanmoins, durant la période de post acidification l'action antimicrobienne de l'extrait de la plante s'avère très manifeste chez *Lactobacillus bulgaricus* dont les activités métaboliques ont été relativement altérées.

En fin, la sensation de fraîcheur ressentie par certains panélistes dans les yaourts fortifiés d'extrait des graines de *Foeniculum vulgare* surtout à 6% d'extrait hydroéthanolique est sans

doute dû à un ou plusieurs composés de la plante non identifiés à ce jour et qui peuvent être un atout d'aide à la maîtrise de la qualité et à la formulation d'un nouveau produit santé alicament susceptible de satisfaire la demande sans cesse croissante des consommateurs.

En conséquence, il apparaît possible d'incorporer l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* L jusqu'à un seuil de 6% et de produire un lait fermenté alicament meilleur que le yaourt habituel du point de vue des critères de qualité physicochimiques, microbiologiques, rhéologiques et organoleptiques.

Conclusion

Conclusion générale

Au terme de cette étude et à travers les résultats obtenus il apparaît que l'acidité des laits fermenté a été augmentée ($p < 0.01$) de 84.22 à 89.89 °D et n'a pas dépassée la norme de 150 °D après 21 jours d'entreposage au froids à 4°C. Cette acidité s'avère diminuer remarquablement ($p < 0.01$) de 95.42 à 75.75 °D avec l'ajout de 0 à 8% d'extrait hydroéthanoliques des graines de de *Foeniculum vulgare* L.

Quant au pH, les résultats enregistrés semblent suivre une évolution inverse à ceux de l'acidité avec des valeurs qui ont diminué notablement ($p < 0.01$) de 4.21 à 4.02 du début à la fin de la période de conservation et des teneurs qui ont augmenté ($p < 0.01$) de 4.05 à 4.33 °D en fonction de la hausse des taux d'extrait de la plante de 0 à 8% dans les produits.

La viscosité des yaourts semble être altérée ($p < 0.01$) d'environ 18 à 18.7 % durant la conservation avec l'augmentation de 6 à 8% du niveau d'incorporation de d'extrait hydroéthanolique de la plante dans le yaourt.

Concernant les bactéries spécifiques du yaourt dont le nombre est resté stable dans les produits expérimentaux à la norme admise de 10^6 germes vivants/ml, du 1^{er} au 21^{ème} jours de la période de post acidification l'accroissement des germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaticcus* est passé ($p > 0.05$), respectivement de $282 \cdot 10^4$ à $740 \cdot 10^5$ UFC/ml et de $148 \cdot 10^4$ à $262 \cdot 10^4$ UFC/ml, en moyenne. Selon l'augmentation de 0 à 6 et 8% des taux d'incorporations de l'extrait hydroéthanolique des graines de fenouil le nombre de ces germes dans les laits fermentés expérimentaux à d'une part augmenté légèrement ($p > 0.5$) de $286 \cdot 10^4$ à $57 \cdot 10^5$ UFC/ml pour les *Streptococcus thermophilus* et d'autre part diminué ($p > 0.5$) respectivement de $169 \cdot 10^4$ à $102 \cdot 10^4$ UFC/ml pour les *Lactobacillus bulgaticcus*.

Le lait fermenté préparé à 6% d'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* L a été qualifié par les panelistes de meilleures qualités sensorielles que le yaourt standard aux plans des critères sensoriels suivants qui ont été nettement améliorés : acidité, fraîcheur, adhésivité, odeur et arrière goût.

En perspective, il serait très intéressant de compléter cette étude par :

- Le suivi de l'effet antioxydant d'ajout de l'extrait hydroéthanolique des graines de *Foeniculum vulgare* sur la stabilité du profil lipidique des laits fermentés type yaourt étuvé ;
- Le diagnostic par HPLC du profil en composés phénoliques et flavanoides de l'extrait de la plante ;
- L'application des différents tests microbiologiques d'évaluation de l'activité antimicrobienne de l'extrait vis-à-vis des germes bénéfiques du yaourt à savoir *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaticcus*.

D'autres études peuvent être, également, dès à présent entreprises sur les extraits des graines de *Foeniculum vulgare* par usage d'autres solvants à différentes polarités ou même d'autres plantes médicinales à forts potentiels en composés bioactifs bénéfiques pour la santé (*Rosmarinus officinalis* L, *Thymus vulgaris* L, *Mentha peperita*, *Laures nobimis* L...etc.).

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- **Abou El-Soud¹ N., El-Laithy N., El-Saeed G., Wahby M.S., Khalil M., Morsy F. e Shaffie N., (2011).**Antidiabetic Activities of *Foeniculum Vulgare* Mill. Essential Oil I Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Macedonian Journal of Medical Sciences.* 4(2):139.
- **Amarti F., El Ajjouri M., Ghanmi M., Satrani B., Aafi A., Farah A., Khia A., Guedira A., Rahouti M., and Chaouch A. (2011).**Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de l'huile essentielle de *Thymus zygis* du Maroc, pp 44-48
- **Amimar Z., Lamarti A., Badoc A., Reduron J.P., Ouahabi S. and Muckensturm B., 2001.** Clonage du fenouil doux par culture d'apex. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux,* 140, pp.43.
- **Aprotosoiaie A.C., Spac A.D., Hancianu M., Miron A., Tanasescu V.F., Dorneanu V. and Stanescu U., 2010.**The chemical profile of essential oils obtained from fennel fruits (*Foeniculum vulgare* Mill.). *FARMACIA,* Vol. 58 (1); pp. 46-54.
- **Arnalschnebelen B., Goetz P., Grassart E., Iserin P., Jacquemin M., Lejeune R. et al., (2008).**Plante médicinales : Phytothérapie. Paris, pp 971-980.
- **Adgujar, S. B., V. V. Patel, et al., (2014).**"*Foeniculum vulgare* Mill: a review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application, and toxicology." *Biomed Res Int* 2014: 842674.
- **Carole et Vignola, C.I., 2002.** Science et technologie du lait : transformation du lait. Ed. Lavoisier, Paris, Pp600.
- **Chowdhury J.U., Mobarok H. Bhuiyan N.I. and Nandi N.C., 2009.** Constituents of essential oils from leaves and seeds of *Foeniculum vulgare* Mill. Cultivated in bangladesh. *Bangladesh J. Bot.* 38(2): pp.181-183.
- **Clarke S., 2008.** Chemistry of essential oil. 1st edition ELSEVIER. British, 302p.

- **Clevenger J.F., 1928.** Apparatus for the determination of volatile oil. J. Am. Pharm. Assoc., 17: pp.345-349.
- **Codex Alimentarius.** Normes n°A 11(A).- Rome .FAO/OMS,1975.- p 86
- **Conner D., (1993).**Naturally occurring compounds. In: Antimicrobials in Foods Davidson P, Branen AL, Marcel Dekker publishing company New York, pp 15-20.
- **COURTIN P., MONNET M and 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,p : 3413 -3421.
- **Ebeed N.M., Abdou H.S., Booles H.F., Salah S.H., Ahmed E.S. and Fahmy K., 2010.** Antimutagenic and chemoprevention potentialities of sweet fennel (Foeniculum vulgare Mill.) hot water crude extract. Journal of American Science 6 (9): pp.831-822.
- **EFSA, 2009.** EFSA Scientific cooperation (ESCO) working group on botanicals and botanica preparations; Advice on the EFSA guidance document for the safety assessment o botanicals and botanical preparations intended for use as food supplements, based on real case studies on request of EFSA. EFSA Journal, 7 (9) : 280 ; 104p
- **Enkelejda, 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 de doctorat en Science des Aliments. Institut national agronomique paris grignon. Pp205.
- **Farrell kt ,(1999).** Spices, Condiments and Seasonings, AVI Publishing, Westport, CT; VanNostrand, New York.
- **Garnéro J., 1991.** Les huiles essentielles, leur obtention, leur composition, leur analyse et leur normalisation. Ed. Encyclopédie des médecines naturelles, Paris, France, pp. 2 -20.
- **Garnéro J., 1996.** Huiles essentielles. Techniques de l'Ingénieur, traité Constantes physicochimiques; K 345-1, 39p.

- **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.
- **Grieve, M., (1931).** A Modern Herbal: the Medicinal, Culinary, Cosmetic and Economic Properties, Cultivation and Folk-lore of Herbs, Grasses, Fungi, Shrubs & Trees with their Modern Scientific Uses. Brace & Company, Harcourt.
- **Karou D., Dicko M., Simpore J., and Traore A., (2005).** Antioxidant and antibacterial activities of polyphenols from ethno medicinal plants of Burkina Faso. pp. 823-828.
- **Kaur G.J. and Arora D.S., 2010.** Bioactive potential of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare* and *Trachyspermum ammi* belonging to the family Umbelliferae - Current status. Journal of Medicinal Plants Research Vol. 4(2), pp. 087-094.
- **Kooti W., Moradi M., Ali-Akbari S., Sharafi-Ahvazi N., Asadi-Samani M. & Ashtary-Larky D., 2015.** Therapeutic and pharmacological potential of *Foeniculum vulgare* Mill: a review. J. HerbMed Pharmacol. J. J HerbMed Pharmacol 4(1), 1-9.
- **Kothe H.W., 2008.** 1000 plantes aromatiques et médicinales. Terre editions. Toulouse, 328p.
- **Kurian A., 2012.** Health benefits of herbs and spices. In: Limited, W.P. ed. Handbook of Herbs and Spices: Volume 2. 72-88.
- **Lablondel, C. 2007.** Les laits fermentés : vos alliés pour une meilleure santé. Pp. 3.
- **Lazouni H., Benmansour A., Taleb-Bendiab S., and Chabane D. (2007).** Composition des constituants des huiles essentielles et valeurs nutritives du *Foeniculum vulgare* Mill, pp 7-12.
- **Lim T., (2013).** Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, pp 29.

- **Malhotra S.K., 2012.** Fennel and fennel seed. In: Handbook of Herbs and Spices: IVolume 2. Woodhead Publishing Limited, 275–302.
- **Mimica-Dukic N., Kujundzic S., Sokovic M. and Couladis M., 2003.** Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. obtained by different distillation conditions. *Phytother. Res.* 17 (4), pp. 368-371.
- **Muckensturm B., Foechterlen D., Reduron J., Dantont P., et Hildenbrand M. (1997)** Phytochemical and Chemotaxonomic Studies of *Foeniculum vulgare*. *Biochemical Systematics and Ecology*, pp. 353-358.
- **Murdock D.H., 2002.** The Encyclopedia of Foods: A Guide to Healthy Nutrition. Elsevier's Science & Technology. Oxford, UK ; 529p.
- **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.
- **Olle M. and Bender I., 2010.** The content of oils in Umbelliferous crops and its formation. *Agronomy Research* 8 (3), pp.687-696.
- **Ouis N., (2014),** Etude chimique et biologique des huiles essentielles de coriandre, de fenouil et de persil, pp 02.
- **Oussou K., Yolou S., TueBi B., Kanko C., Boti J., Ahibo C., and Casanova J. (2010).** Etude Chimique Bio-Guidée de L'huile Essentielle de *Ocimum Gratissimum*, pp 63.
- **Özcan M. and Akgül A., 2001.** Chemical composition of the essential oil of bitter fennel (*Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum*). *J. Spices Aro m. Crops* 10: pp. 49-50.
- **Özcan M., Chalchat J.C., Arslan D., Ates A. and Ünver A., 2006.** Comparative essential oil composition and antifungal effect of bitter fennel (*Foeniculum vulgare* subsp. *piperitum*) fruit oils obtained during different vegetation. *J. Med. Food* 9 (4): pp.552-561

- **Pandey M.M., Vijayakumar M., Rastogi S. & Ajay K.S., 2012.** Phenolic Content and Antioxidant Properties of Selected Indian Spices of Apiaceae. *J. Herbs. Spices Med. Plants* 18(3), 246–256.
- **Piccaglia R, Marotti M., (2001).** Characterization of some Italian types of wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *J Agric Food Chem*;49:239–44.
- **Pitasawat B., Champakaew D., Choochote W., Jitpakdi A., Chaithong U., Kanjanapothi D., attanachanpichai E., Tippawangkosol P., Riyong D., Tuetun B. & Chaiyasit D., 2007.** Aromatic plant-derived essential oil: an alternative larvicide for mosquito control. *Fitoterapia*. 78(3), pp.205-210.
- **Rather., Manzoor A., Bilal A., Dar ., Shahnawaz N. Sofi , Bilal A. Bhat, Mushtaq A. Qurishi** Indian Institute of Integrative Medicine (CSIR ,IIM) ,Sanat Nagar 190 005,India,Department of Chemisty,University of kashmir,Hazratbal,Srinagar 190 006, India ,Received 9 July 2011, Accepted 21 April 2012 , Available online 30 April 2012,Version of Record 20 December 2016
- **Rather M., Dar B., Sofi S., Bhat B., and Qurishi M. (2012).** *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology, and safety, pp 18 -22.
- **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. Lorica, paris. 37-46.
- **Seidemann j.,(2005).** *World Spice Plants, Economic Usages, Botany and Taxonomy.* Springer Verlag, Berlin, 372–4.
- **Silano V. and Delbò M., 2008.** Assessment report on *Foeniculum vulgare* Miller. EMEA, European Medicines Agency. London ; 23p.
- **Singh G., Kapoor I., Singh P., Heluani C. & Catalan C., 2008.** Chemical composition and antioxidant potential of essential oil and oleoresins from anise seeds (*Pimpinella anisum* L.). *Int. J. Essent. Oil Ther.* 2(September), 122–130.

- **Singh G., Maurya S., de Lampasona M.P. and Catalan C., 2006.** Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. *Food Control*, Vol. 17, pp.745–752.
- **Souri E., Amin G., Farsam H. & Barazandeh Tehrani M., 2008.** Screening of antioxidant activity and phenolic content of 24 medicinal plant extracts. *DARU J. Pharm. Sci.* 16(2), 83–87.
- **Stefanini M.B., Ming L.C., Marques M.O.M., Facanali R., Meireles M.A.A., Moura L.S., Marchese J.A. and Sousa L.A., 2006b.** Essential oil constituents of different organs of fennel (*Foeniculum vulgare* var. *vulgare*). *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*, Vol.8, pp.193-198.
- **TAMIME A.Y and ROBINSON R.K., 1999.** *Yoghurt science and technology*, 2nd Ed, Cambridge, woodheadPublishing in Food Science and Technology, 619.
- **Tamime, A.Y., Deeth, H.C. 1980.** Yogurth: technology and biochemistry. *Journal of Food protection*, 43, 12, 939-977.
- **Vienna C.F., Bauer R., Carle R., Tedesco D., Tubaro A. and Zitterl-Eglseer K., 2005.** Assessment of plants/herbs, plant/herb extracts and their naturally or synthetically produced components as “additives” for use in animal production. *FEEDAP* ; 297p.
- **Zahid N.Y., Abbasi N.A., Hafiz I.A. and Ahmad Z., 2009.** Genetic diversity of indigenous fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) Germplasm in pakistan assessed by RAPD markers. *Pak. J. Bot.*, 41(4): pp.1759-1767.

Annexe

Annexes

Méthodes de dosage

1-1 Mesures de l'acidité :

Pour mesurer l'acidité on a utilisé le matériels et les produits suivantes :

- 50 g de soude (NaOH, N/9)
- 1g de phénolphtaléine (1%)
- 100ml d'éthanol
- Burette
- Béchers
- Pipettes (10ml)

L'acidité Dornic est déterminée par titration d'un échantillon de 10ml à l'aide de soude Dornic (N/9) en présence d'indicateur coloré (phénolphtaléine 1% dans l'éthanol a 95°) jusqu'au virage de la couleur de lait au rose-pale .

Expression des résultats :

Acidité dornic= $V : NaOH.10$

V : NaOH : le volume de NaOH (N/9) nécessaire pour titrer l'échantillon jusqu'à l'apparition de la couleur rose-pale .

1.2 Mesure du PH :

Pour mesurer le PH on a utilisé les produits et le matériel suivantes :

- pH mètre
- solution tampon (pH=4 et pH=7) .

☆Le pH des échantillons est déterminé par l'introduction de la cathode à l'intérieur du produit après étalonnage par les solutions tampons (pH=4 et pH=7).

Expression des résultats :

Le résultat est effectué par la lecture directe de la valeur affichée sur le pH mètre.

1-3 Mesure de la viscosité :

Pour mesurer la viscosité on a besoin les produits, matériel et la méthode ci-dessous :

Bille de 16.46g de masse, de 1.3 cm de diamètre et de masse volumique égale à

6400Kg/m³

- Tube cylindrique de 12 cm de longueur.
- Chronomètre servant à mesure le temps de chute de la bille.

Introduire la bille de 16.46g dans le tube cylindrique rempli avec le produit à analyser par une chute libre sur une distance constante de 12cm, tout en mesurant le temps par le biais d'un chronomètre.

1-3-2 Expression des résultats :

$$\mu = K. (\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}}). t \quad K = 2.r^2.g/9.x$$

$$\text{Donc : } \mu = (2r^2.g/9x).(\zeta_{\text{bille}} - \zeta_{\text{yaourt}}).t$$

μ : viscosité dynamique (Kg/ms)

K : constante, tel que $k = 1.3.10^{-3} \text{ m}$

ζ_{bille} : la masse volumique de la bille = 6400kg/m³

ζ_{yaourt} : la masse volumique de yaourt (kg/m³).

t : temps parcouru pour la bille entre deux points A et B.

r : rayon de bille tel que. $r = D/2 = 0.85 \text{ cm}$

x : la distance d'écoulement de la bille, $x = 12 \text{ cm}$

g : la force de pasteur, tel que $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.