M/A.C.Q.04/22

الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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

جـــامعـــة محمد الصديق بن يحيى جـيـــجـــل

M/A.C.Q.04/22

Faculté : Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Microbiologie Appliquée et Sciences Alimentaires

كلية عـــلوم الطـبيعة والحـــياة
قســـم الميكروبيولوجيا التطبيقية وعلوم التغذية

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Sciences de la Nature et de la Vie**

Filière : Sciences Alimentaires

Option : Agroalimentaire et Contrôle de Qualité

Thème

Évaluation de la qualité nutritionnelle, physico-chimique et activité antioxydante d'un yaourt enrichi en extraits de plantes

Membre de Jury :

Présidente: Dr. AYAD. R

Examinatrice: Dr. DJABALI. S

Promotrice: Dr. BOUSSOUF. L

Présenté par :

TAMOUM Hana

TERKI Amel

مكتبة الكلية
كلية علوم الطبيعة والحياة

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....

°D: Degré Dornic.

ADN: Acide Désoxyribonucléique.

ARN: Acide Ribonucléique.

CO_2: Dioxyde de Carbone.

DPPH: 1,1-Diphenyl-2-Picryl-Hydrazyl.

EAG: Equivalent Acide Gallique.

EGLU: Equivalent glucose.

EQ: Equivalent Quercétine.

FAO: Food and Agriculture Organization.

ISO : International Standard Organization.

JC: Jésus-Christ.

$K_3Fe(CN)_6$: Ferricyanure de potassium.

MPa: Mégapascal.

OMS: Organisation mondiale de la santé.

rpm: Révolution par minute.

UFC: Unité Formant Colonie.

SOD: Superoxydedismutase

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différents ingrédients du yaourt.....5

Tableau 2 : Composition nutritionnelle du yaourt nature.....6

Tableau 3 : Principales classes des composés phénoliques.....18

Tableau 4 : Espèces végétales utilisées dans l'expérimentation.....24

Tableau 5 : Teneur en polyphénols totaux (µg EAG/mL surnageant) des yaourts enrichis par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia*, d'*Achillea odorata*, et du yaourt témoin.....40

Tableau 6 : Pouvoir réducteur du fer pour les trois échantillons du yaourt.....42

Tableau 7 : Mesures des diamètres des zones d'inhibition (en mm) pour les trois échantillons de yaourt analysés.....44

TABLE DE MATIERE

Dédicaces

Remerciements

Liste des abréviations

Listes des figures

Liste des tableaux

Table de Matière

Introduction 1

PARTIE I : *SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE*

Chapitre I : *YAOURT* 3

I .1. Historique : 3

I.2. Définitions et réglementation 3

I.3. Matière première et ingrédients 4

I.4. Composition nutritionnelle du yaourt 5

I.4.1. Glucides 6

I.4.2. Protéines 6

I.4.3. Lipides 7

I.4.4. Vitamines 7

I.4.5. Minéraux 7

I.5. Bactéries lactiques du yaourt 7

I.5.1. Caractéristiques générales des bactéries lactiques 7

I.5.2. Bactéries spécifiques du yaourt 8

I.5.3. Croissance associative dans le yaourt 9

I.6. Processus de fabrication du yaourt 10

I.6.1. Préparation et traitement du lait 11

I.6.2. Fermentation 12

I.6.3. Conditionnement et stockage 14

I.7. Intérêt thérapeutique du yaourt 14

I.7.1. Amélioration de l'absorption du lactose 14

I.7.2. Amélioration de la digestibilité des protéines 14

I.7.3. Amélioration de la digestibilité des matières grasses 14

I.7.4. Activité antimicrobienne 14

I.7.5. Action préventive contre les cancers de la sphère digestive 15

I.7.6. Stimulation du système immunitaire 15

I.7.7. Réduction des maladies cardiométaboliques et du cholestérol sérique 15

I.7.8. Yaourt et cerveau 15

I.7.9. Yaourt et surpoids 15

I.8. Enrichissement des yaourts 15

I.8.1 Etude antèrieures 16

Chapitre II : Composés phénoliques et plantes médicinales retenues 17

II.1. Composés phénoliques 17

II.1.1. Définition des composés phénoliques 17

II.1.2. Distribution et localisation des composés phénoliques 17

II.1.3. Classification des composés phénoliques 17

II.1.4. Composés phénoliques et la santé humaine 19

II.2. Plantes médicinales retenues 19

II.2.1. *Mentha Rotundifolia* 20

II.2.2. *Achillea* odorata 22

PARTIE II : *ETUDE EXPERIMENTALE*

Chapitre I: Matériel et méthodes 24

I.1. Matériel végétal 24

I.1.1. Préparation des extraits aqueux 25

I.2. Préparation du yaourt 25

I.2.1. Lait et ferments lactiques 25

I.2.2. Procédé de préparation du yaourt 25

I.3. Préparation du surnageant de yaourt 27

I.4. Évaluation des paramètres physico-chimiques 28

I.4.1. pH 28

I.4.2. Acidité titrable 28

I.4.3. Détermination de la matière sèche 29

I.4.4. Détermination de la teneur en cendres 29

I.5. Etude de la qualité nutritionnelle 30

I.5.1. Détermination de la teneur en protéines 30

I.6. Dosage des polyphénols totaux 31

I.7. Détermination de l'activité antioxydante 31

I.7.1. Test du radical libre DPPH· 31

I.7.2. Test du pouvoir réducteur du Fer. 32

I.8. Test d'inhibition de l'alpha-amylase 32

I.9. Évaluation de l'activité antibactérienne 33

I.9.1. Souches bactériennes. 33

I.10. Analyse statistique 34

Chapitre II : Résultats et discussion 35

II.1. Résultats 35

II.1.1 Évaluation des paramètres physico-chimiques 35

II.1.2. Etude de la qualité nutritionnelle 38

II.1.3 Dosage des polyphénols totaux 39

II.1.4 Détermination de l'activité antioxydante 40

II.1.5 Test d'inhibition de l'alpha-amylase 43

II.1.6 Évaluation de l'activité antibactérienne 44

II.2 Discussion 45

Conclusion 51

Références bibliographiques 53

Annexes

INTRODUCTION

جامعة محمد الصديق بن يحيى
مكتبة الكلية
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Le yaourt est un produit laitier populaire, largement apprécié pour ses qualités nutritives et ses propriétés sensorielles (Nagaoka, 2019). Il contient des nutriments essentiels et constitue une matrice riche en probiotiques, protéines, acides gras (oméga-3), fibres, vitamines et minéraux (Fisberg et Machado, 2015 ; Shori, 2020[a]).

Il est considéré comme un aliment fonctionnel qui présente des effets thérapeutiques sur la santé intestinale, les fonctions cardiaques et la défense immunitaire naturelle chez l'homme (Shori, 2020[b]).

Au cours des dernières décennies, les exigences des consommateurs dans le domaine de la production alimentaire, d'une part, et la sensibilisation croissante à la santé, d'autre part, ont considérablement évolué. Les consommateurs sont de plus en plus convaincus que les aliments contribuent directement à leur santé. Les aliments ne sont pas destinés uniquement à satisfaire la faim et fournir les nutriments nécessaires à l'être humain, mais aussi à prévenir les maladies liées à la nutrition et à améliorer le bien-être physique et mental des consommateurs (Mocanu *et al.*, 2010). A cet égard, les aliments fonctionnels enrichis par des substances bioactives dont les composés phénoliques jouent un rôle remarquable.

En effet, bien que le yaourt ait une valeur nutritionnelle élevée et des bienfaits pour la santé, il représente une faible source de composés phénoliques. Récemment, l'enrichissement des yaourts avec des fruits, et des extraits de plantes médicinales riches en composés phénoliques en tant qu'additifs présente une nouvelle approche pour développer des yaourts fonctionnels dotés de propriétés nutritionnelles, antioxydantes et thérapeutiques améliorées (Kim *et al.*, 2019).

Dans cette optique nous nous sommes intéressés à élaborer deux types de yaourts fermes natures et d'étudier l'effet de l'enrichissement de chacun par les composés phénoliques de chaque extrait aqueux de deux plantes médicinales à savoir *Mentha rotundifolia* et *Achillea odorata* sur les propriétés physico-chimiques, nutritionnelles, le contenu polyphénolique, le potentiel antioxydant et l'inhibition de l'alpha-amylase pendant 21 jours de stockage réfrigéré.

Notre travail sera réparti en deux parties :

- Une partie relative à l'étude bibliographique du yaourt, composés phénoliques et plantes médicinales retenues.
- Une autre partie réservée à l'étude expérimentale subdivisée en deux chapitres: le premier présente les différentes méthodes suivies pour évaluer l'effet de l'enrichissement du yaourt par les deux extraits aqueux sur les différents paramètres physico-chimiques, nutritionnelles, les propriétés fonctionnelles, y compris les activités antioxydantes,

inhibitrice de l'alpha-amylase, ainsi que la teneur en polyphénols et le deuxième sera consacré à présenter et interpréter les résultats obtenus.

CHAPITRE I:

Yaourt

I .1. Historique

Le yaourt est un aliment ancien qui a porté de nombreux noms au cours des millénaires. On pense que les produits laitiers ont été incorporés dans l'alimentation humaine vers 1000-5000 avant Jésus-Christ. Cependant, le lait se gâte facilement, ce qui le rend difficile à utiliser. À cette époque, les bergers du Moyen-Orient transportaient le lait dans des sacs en boyaux intestinaux (Fisberg et Machado, 2015).

Le yaourt était bien connu dans les empires grecs et romains, et les grecs ont été les premiers à le mentionner dans des références écrites en 100 avant JC, notant l'utilisation du yaourt par les nations barbares. On pense que le mot «yaourt» vient du mot turc «yogurmak», qui signifie épaissir, coaguler ou cailler. Les textes mentionnent le mot « yaourt» et décrivent son utilisation par les turcs nomades. Les turcs ont également été les premiers à évaluer l'utilisation médicinale du yaourt pour une variété de maladies et de symptômes, tels que la diarrhée et les crampes, et pour soulager l'inconfort de la peau boulée par le soleil (Fisberg et Machado, 2015).

Au cours des 20 dernières années, l'intérêt pour la fabrication de yaourt a considérablement augmenté pour des raisons scientifiques et commerciales. Les découvertes scientifiques ont suggéré de nouveaux produits laitiers bénéfiques pour la santé humaine (cultures probiotiques, enrichissement en composés bioactifs) ainsi que des caractéristiques sensorielles, notamment texturales améliorées. La demande des consommateurs pour le yaourt et les produits laitiers fermentés similaires a augmenté (Sfakianakis et Tzia, 2014).

I.2. Définitions et réglementation

Le yaourt est l'un des aliments fermentés les plus populaires et traditionnellement consommés depuis longtemps dans de nombreux pays (Shori et Baba, 2011[a]). Selon la réglementation française, un yaourt est un lait fermenté composé uniquement de matières premières d'origine laitière (lait et constituants du lait) ayant subi une pasteurisation et une fermentation par des micro-organismes spécifiques, et caractérisé par une teneur en acide lactique minimale de 0.6 %. La dénomination ≪yaourt≫ ou ≪yoghourt≫ est réservée aux laits fermentés obtenus par les seules bactéries lactiques thermophiles *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* (Lesme, 2019).

Le nombre de bactéries vivantes dans les laits fermentés à date limite de consommation doit être égal à 10^7unité formant colonies / gramme ou / millilitre (UFC/g ou mL) de produit. Les yaourts

font partie des ultra-frais laitiers, c'est à-dire des produits laitiers à conserver au froid positif entre 0 et 6°C et à date de limitation courte (Lecerf, 2016).

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

- ✓ Yaourts fermes, dont la fermentation a lieu en pots. Ce sont généralement des yaourts natures ou aromatisés.
- ✓ Yaourts brassés, dont la fermentation a lieu en cuve avant le conditionnement. Ce sont généralement des yaourts brassés natures ou aux fruits (Tamime et Deeth, 1980).

I.3. Matière première et ingrédients

La production de yaourt commence par une sélection appropriée des matières premières et une formulation précise pour produire une qualité constante d'un mélange liquide conforme à un type particulier de yaourt en cours de fabrication (Chandan, 2017).

Bien que le lait de divers animaux ait été utilisé pour la production de yaourt dans diverses parties du monde, la majeure partie de la production de yaourt industrialisée utilise du lait de vache. Du lait entier, du lait partiellement écrémé, du lait écrémé ou de la crème peuvent être utilisé. Pour assurer le développement de la culture du yaourt, le lait cru doit contenir un faible nombre de bactéries, il ne doit pas contenir des antibiotiques, produits chimiques désinfectants, laits de mammites, colostrum et lait rance. Il doit aussi être exempt des bactériophages (Yildiz, 2010).

Les autres ingrédients du yaourt peuvent inclure tout une ou partie des éléments suivants indiqués dans le tableau 1

Tableau 1: Différents ingrédients du yaourt (Yildiz, 2010).

Ingrédients	Exemples
Autres produits laitiers	Lait écrémé concentré, lait en poudre écrémé, lactosérum et lactose.
Édulcorants	Aspartame, édulcorants à haute intensité.
Stabilisants	Gélatine, carboxyméthylcellulose, guar de caroube, alginates, carraghénanes et concentré de protéines de lactosérum.
Aromes	Préparation de fruits, y compris arômes naturels et artificiels et colorants

I.4. Composition nutritionnelle du yaourt

La composition nutritionnelle du yaourt est basée sur la composition nutritionnelle du lait dont il est dérivé, qui est affectée par de nombreux facteurs tels que les différences génétiques et individuelles des mammifères, l'alimentation, le stade de lactation, l'âge et des facteurs environnementaux tels que la saison de l'année (Adolfsson *et al.*, 2004). Au cours de la fermentation, la composition du lait subit un certain nombre de modifications. Certaines de ces modifications en font un produit de meilleure valeur nutritionnelle que le lait (Jeantet *et al.*, 2008).

La composition nutritionnelle finale du yaourt est également affectée par les espèces et les souches de bactéries utilisées dans la fermentation, la source et le type de solides du lait qui peuvent être ajoutés avant la fermentation, ainsi que la température et la durée du processus de fermentation (Adolfsson *et al.*, 2004).

La composition nutritionnelle du yaourt nature figure dans le tableau 2:

Tableau 2 : Composition nutritionnelle du yaourt nature (Lecerf, 2016).

	Nature pour 100 g			**Sucré aux fruits**
	Ecrémé	**1/2 Ecrémé**	**Entier**	
Energie (Kcal)	44	55	76	15 à +30
Proteines (g)	4,3	3,5	3,9	
Lipides (g)	0,09	1,27	3,31	
Acides gras saturés (g)	0,05	0,82	2,12	
Glucides (g)	5,5	6,7	7,2	+5 à +6
Calcium (mg)	136	129	136	

I.4.1. Glucides

La principale modification que le lait subisse au cours de la fermentation est la baisse de la teneur en lactose de 30 à 20%. En partant d'un lait enrichi de poudre de lait écrémé au taux de 2%, la teneur du yaourt en lactose résiduel est de l'ordre de 4,5 g pour 100g. la dégradation du lactose conduit à la formation de galactose, de glucose et d'acide lactique qui passe d'un niveau pratiquement nul à un niveau de 0,8 à 1%, dont 50 à 100% d'acide lactique selon les ferments . Les quantités finales de galactose sont aux alentours de 1 à 1,5%. Les concentrations en glucose et oligosaccharides sont très faibles (Syndifrais, 1997).

I.4.2. Protéines

La teneur en protéines du yaourt commercial est généralement plus élevée que celle du lait en raison de l'ajout de lait sec non gras pendant le traitement et la concentration, ce qui augmente le contenu en protéines du produit final. Les caséines et les protéines de lactosérum du yaourt sont des sources riches de tous les acides aminés essentiels, et la disponibilité intestinale de l'azote a été signalée comme étant élevée (93%). Les protéines du yaourt sont d'excellente qualité biologique, tout comme celles du lait, car la valeur nutritionnelle des protéines du lait est bien préservée pendant le processus de fermentation (Adolfsson *et al.*, 2004).

I.4.3. Lipides

Les lipides du lait subissent des modifications biochimiques au cours du processus de fermentation, de petites quantités d'acides gras libres sont libérées par l'activité de la lipase. Cependant, il a été démontré que le yaourt a une concentration plus élevée d'acide linoléique conjugué, un acide gras à longue chaîne (Adolfsson *et al.*, 2004). Il existe une hydrolyse très modérée des triglycérides qui n'a pas d'incidence nutritionnelle observable (Syndifrais, 1997).

I.4.4. Vitamines

La composition des vitamines du yaourt dépend principalement de celle du lait utilisé. De plus, elle sera modulée au cours de la fermentation, dépendant aussi des souches employées. La composition en vitamines liposolubles A et D varie en fonction de leur teneur dans le lait utilisé (entier ou partiellement écrémé) (Syndifrais, 1997).

I.4.5. Minéraux

En plus d'être une bonne source de protéines, le yaourt est une excellente source de calcium et de phosphore. En fait, les produits laitiers tels que le lait, le yaourt et le fromage fournissent la majeure partie du calcium hautement bio disponible dans le régime alimentaire. En raison de pH inférieur du yaourt par rapport à celui du lait, le calcium et le magnésium sont présents dans le yaourts principalement sous leurs formes ioniques (Adolfsson *et al.*, 2004).

I.5. Bactéries lactiques du yaourt

I.5.1. Caractéristiques générales des bactéries lactiques

Les bactéries lactiques sont des cellules vivantes, procaryotes, à Gram-positif, hétérotrophes et chimio-organotrophes. Elles sont le plus souvent immobiles, jamais sporulées, catalase négative, oxydase négative, anaérobies facultatives et micro aérophiles. Elles sont caractérisées par leur aptitude à fermenter les glucides en produisant de l'acide lactique et sont dites homofermentaires lorsque l'acide lactique est le seul produit formé; par contre elles sont hétérotrofermentaires lorsque d'autres composés comme l'éthanol et le CO_2 sont produits en même temps (Savadogo et Traore, 2011).

Les bactéries lactiques regroupent un ensemble d'espèces hétrogènes dont le trait commun est la production d'acide lactique. Elles appartiennent à divers genre comme *Bifidobacterium, Leuconostoc, Pediococcus, Lactococcus, Enterococcus Lactobacillus, Streptococcus,*

Aerococcus, Alloicoccus et *Carnobacterium*. Elles interviennent dans l'industrie laitière et dans la fermentation de nombreux autres produits alimentaires : saumurage des légumes, boulangerie, fabrication du vin, saurissage des poissons, des viandes et des salaisons, etc. Elles contribuent à la texture, à la saveur des aliments et la production de composés aromatiques (Savadogo et Traore, 2011)

I.5.2. Bactéries spécifiques du yaourt

Lactobacillus delbrueckii subsp. *bulgaricus et Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* sont les deux bactéries caractéristiques du yaourt et d'autres laits fermentés similaires. Ces deux germes vont acidifier le lait en synergie jusqu'à un pH inférieur ou égal à 4, entraînant ainsi la coagulation du lait fermenté (Zourari et Desmazeaud, 1991).

I.5.2.1. *Lactobacillus bulgaricus*

Lactobacillus delbrueckii subsp. *bulgaricus* (*L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) (Figure 1) est une espèce importante de bactéries lactiques actuellement utilisée dans la production industrielle de produits laitiers fermentés. *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* est un anaérobie aérotolérant qui tire la majeure partie de son énergie de la fermentation homolactique (Marty-Teysset *et al.*, 2000).

Les Lactobacillus delbrueckii subsp. *bulgaricus (L. bulgaricus)* sont des bâtonnets à Gram positif qui se présentent seuls ou par paires dans les jeunes cultures. Dans les cultures plus anciennes, les bâtonnets se présentent soit en paires, soit en chaînes, avec ou sans granules (Tribby, 2009). Immobiles, sporulés, micro aérophiles et thermophiles. Ces bactéries possèdent un mécanisme strictement fermentaire avec production exclusive d'acide lactique à partir des hexoses. Leur température optimale de croissance est approximativement 42°C. Elles ont un rôle essentiel dans le développement des qualités organoleptiques et hygiéniques du yaourt (Marty-Teysset *et al.*, 2000).

I.5.2.2. *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus salivarius subsp. *thermophilus (S. thermophilus)* (Figure 2) sont des cocci Gram positif en paires ou en longues chaînes, avec une température de croissance optimale de 40 à 45°C, et une température de croissance maximale de 50°C, et sont capables de survivre à la pasteurisation à basse température. Cet organisme est extrêmement sensible aux antibiotiques. Cette sensibilité aux antibiotiques ainsi qu'aux nettoyants chimiques souligne la nécessité de disposer de stocks de lait de haute qualité et de procédures sensibles de dépistage des antibiotiques (Tribby, 2009).

S. thermophilus est faiblement protéolytique et a besoin d'acides aminés libres générés par *L. bulgaricus,* obtenus soit par un traitement thermique sévère du lait, soit par des sources exogènes. Cette dernière produit de l'acide formique et est responsable de la réduction des niveaux d'oxygène dans la croissance associative avec *L. bulgaricus* (Tribby, 2009).

Figure 1 : *Lactobacillus delbrueckii* Subsp. *bulgaricus* (Yildiz, 2010).

Figure 2 : *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* (Yildiz, 2010).

I.5.3. Croissance associative dans le yaourt

Lors de la production de yaourt, l'utilisation combinée de *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* permet de valoriser l'interaction indirecte positive existant entre ces deux espèces. Cette interaction mutuellement favorable aux deux espèces est appelée proto-coopération (Figure 3). Elle se traduit par une augmentation de la vitesse d'acidification par rapport à celle observée en cultures pures, un accroissement des concentrations bactériennes, une protéolyse plus prononcée et une amélioration de la production des composés d'arômes (acétaldéhyde notamment) et de la stabilité physique du produit (réduction des problèmes de synérèse) (Béal et Sodini, 2003).

S.thermophilus, qui présente mutuellement une faible activité protéolytique, est stimulée par les petits peptides et acides aminés formés dans le lait grâce à l'activité protéolytique du lactobacille, permise par l'action de sa protéase de paroi PrtB. En retour, *S.thermophilus* fournit du CO_2, et de l'acide formique qui, tous deux, vont stimuler la croissance de *L.bulgaricus* (Béal et Sodini, 2003).

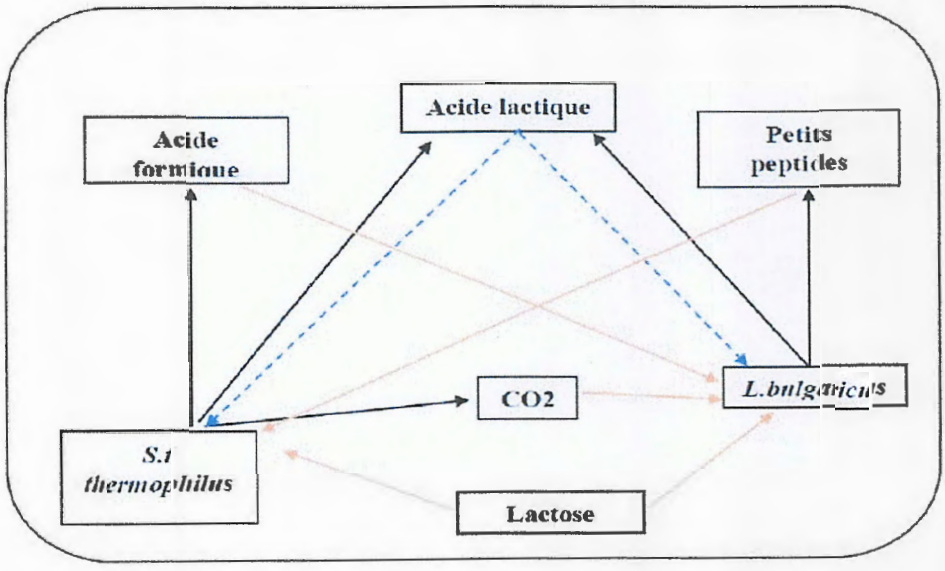


Figure 3 : Interaction de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* en culture mixte dans le lait (Mahaut *et al.*, 2000).

I.6. Processus de fabrication du yaourt

Le procédé de fabrication se découpe en plusieurs étapes et diffère d'un type de yaourt à un autre, les principales étapes sont illustrées dans le diagramme de la figure 4:

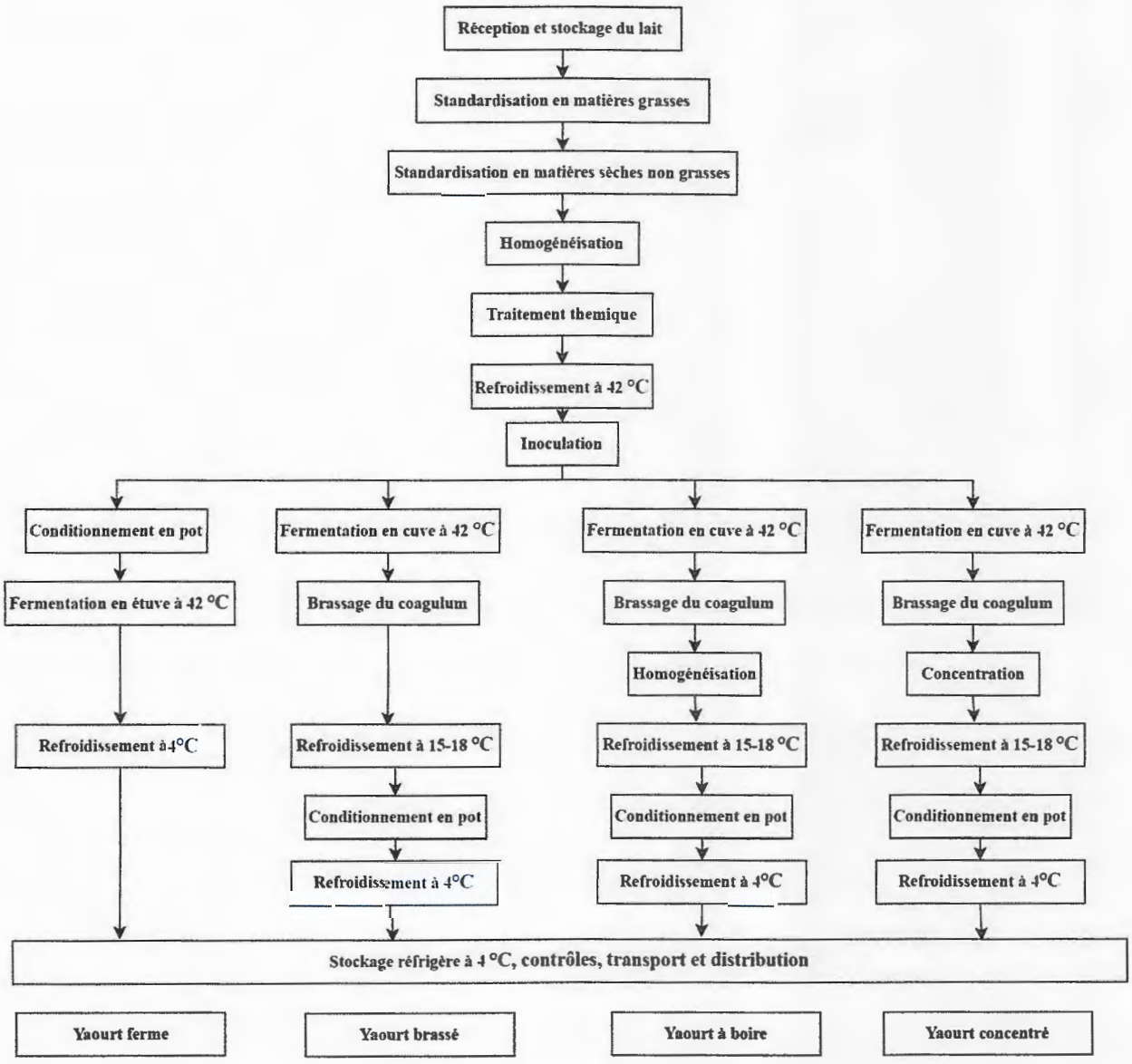


Figure 4 : Diagramme général de fabrication des principaux types de yaourts et laits fermentés (nature) (Béal et Sodini, 2003).

I.6.1. Préparation et traitement du lait

I.6.1.1. Réception et standardisation du lait

Le lait frais, collecté au plus tard 72 h après la traite, arrive en camions citernes réfrigérés à l'unité de production. Il est contrôlé lors de la réception pompé et filtré pour éliminer les résidus solides (paille, feuilles), puis stocké au froid (< 5 °C) dans des tanks préalablement lavés et désinfectés (Béal et Sodini, 2003). En vue d'améliorer la qualité organoleptique et nutritionnelle du yaourt, le lait est standardisé. Les protéines ont un rôle déterminant sur la texture et la matière grasse sur les caractéristiques organoleptiques (saveur, arômes). Les

protéines et les matières grasses contribuent également à masquer l'acidité du produit. La teneur en matière grasse est ajustée en fonction des produits de 0,5 à 3,5%, et celle de l'extrait sec dégraissé à environ 14% dont 5% des protéines. Cet enrichissement est réalisé par concentration (évaporation ou osmose inverse) ou plus fréquemment par addition de poudre de lait écrémé ou de protéines de lactosérum à des doses variant de 1 à 3%. Le poudrage, effectué à 40°C environ pour une bonne réhydratation des poudres, est généralement suivi d'une étape de filtration et de désaération (Jeantet *et al.*, 2008).

I.6.1.2. Homogénéisation

Au cours de l'homogénéisation, le processus de fractionnement mécanique des globules de matière grasse du lait en plus petites tailles permet une dispersion plus uniforme des stabilisants dans le mélange de yaourt. Le fractionnement mécanique empêche également la formation d'une couche de crème dans les pots de yaourt. Cependant dans certains yaourts au lait entier naturel, aucune homogénéisation n'est effectuée car une couche de crème sur le dessus est souhaitée. Dans la fabrication de yaourt naturel avec une stabilisation minimale (extrait sec dégraissé du lait 11% à 13%), une pression élevée d'homogénéisation d'environ 23 à 28 MPa/6 MPa (2000-2500 psi) double étage, ou 23 à 28b MPa (2000-2500 psi), simple étage, est utilisée pour améliorer la consistance et aider à prévenir la séparation du lactosérum (Chandan, 2017).

I.6.1.3. Traitement thermique du lait

Le lait enrichi, éventuellement sucré, subit un traitement thermique. Le barème de traitement thermique le plus couramment utilisé est de 90 à 95°C pendant 3 à 5 minutes. Ce traitement a de multiples effets sur la flore microbienne ainsi que sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles du lait. Tout d'abord, il crée des conditions favorables aux développements des bactéries lactiques. Il détruit les germes pathogènes et indésirables et inactive des inhibiteurs de croissance tels que les lactopéroxidases, De même, il réduit les sulfures toxiques et entraîne la production d'acide formique qui est un facteur de croissance pour *L. bulgaricus,* et il modifie aussi les propriétés fonctionnelles des protéines et dénature la majorité des protéines de lactosérum (Kora, 2004).

I.6.2. Fermentation

La fermentation est une étape très importante dans la fabrication du yaourt. Au cours de cette étape, le caillé de yaourt est formé et ses caractéristiques texturales et sa saveur distincte sont développées (Sfakianakis et Tzia, 2014).

I.7.5. Action préventive contre les cancers de la sphère digestive

Les lactobacilles modifieraient les enzymes bactériennes à l'origine des carcinogènes (inducteurs de tumeurs cancéreuses) dans le tube digestif, inhibant ainsi la formation de ces substances précancéreuses. Cet effet serait notamment attribué à la production de polysaccharides par les ferments (Jeantet *et al.*, 2008).

I.7.6. Stimulation du système immunitaire

L'effet immunorégulateur du yaourt a été démontré. Son rôle dans l'augmentation de la production d'interférons et immunoglobuline et dans l'activation des lymphocytes B est attribué à *Lb. Bulgaricus* (Jeantet *el al.*, 2008).

I.7.7. Réduction des maladies cardiométaboliques et du cholestérol sérique

La consommation de yaourt peut être bénéfique dans la prévention des maladies cardiovasculaires. Les probiotiques aident à réduire partiellement le taux de cholestérol circulant dans le sang (Chandan *et al.*, 2017).

I.7.8. Yaourt et cerveau

Une étude expérimentale chez des femmes en bonne santé a monté que la prise d'un produit laitier fermenté pendant 4 semaines modifiait l'activité cérébrale responsable des émotions. Dans l'encéphalopathie hépatique minime, la prise de yaourt supprime les signes d'encéphalopathie hépatique minime et améliore les tests cognitifs (Lecerf, 2016).

I.7.9. Yaourt et surpoids

La santé intestinale et l'obésité semblent être liées. Des études ont montré que la consommation de produits laitiers dans le cadre d'un régime hypocalorique est associée à une perte de poids accrue, en particulier au niveau de l'abdomen (Chandan *et al.*, 2017).

I.8. Enrichissement des yaourts

L'industrie du yaourt s'intéresse actuellement à l'utilisation d'additifs naturels pour développer de nouveaux produits qui ne répondent pas seulement aux attentes des consommateurs en matière de valeur nutritionnelle et de techno-fonctionnalité, mais répond également au besoin croissant d'une valeur ajoutée en ce qui concerne les potentiels antioxydants,

la prévention des maladies et la préservation de la santé chez l'homme (Ogunyemi *et al.*, 2021).

Les plantes contribuent de manière significative à la santé et à la nutrition humaine. L'ajout de différentes plantes médicinales peut améliorer la consommation de produits laitiers, car l'utilisation de divers extraits de plantes dans la production de ces produits peut offrir différents choix aux consommateurs. L'enrichissement des produits laitiers avec les extraits de plantes peut fournir un ajout intéressant en tant que produits laitiers fonctionnels (Al- soudy *et al.*, 2020).

I.8.1 Etudes antérieures

Les résultats obtenus dans les travaux de Al-Soudy *et al.* (2020) ont montré que le yaourt à boire fonctionnel enrichi par les extraits de gingembre, amla et curcuma a une activité antioxydante supérieure à celle du contrôle (yaourt sans ajout), et cela peut être dû à la forte activité des antioxydants dans les extraits de plantes ajoutés au yaourt à boire aromatisé.

Également, les résultats de l'étude de Shori. (2020[a]) ont montré que les yaourts enrichis par le romarin, l'aneth, l'origan et le gingembre ont connu une augmentation significative de l'inhibition de l'enzyme α-amylase, des activités antioxydantes ainsi que la teneur totale en composés phénoliques par rapport au témoin pendant 21 jours de stockage. La présence d'extraits de plantes a amélioré l'inhibition de l'activité α-amylase dans le yaourt, cette inhibition pourrait être une approche efficace pour contrôler l'hyperglycémie postprandiale.

L'ajout de certains extraits de plantes médicinales dans le yaourt peut avoir un effet positif sur le pH et l'acidité titrable et donc sur la qualité du yaourt qui peut être conservé pendant une longue période. Cela a été prouvé dans l'étude de Kim *et al.* (2019) qui ont rapporté que le yaourt enrichi par l'extrait de feuilles de Lotus (*Nelumbo nucifera*) avait des valeurs de pH plus basses que celles du yaourt non enrichi (témoin) car les acides contenus dans les feuilles de Lotus ont stimulé la baisse de pH. L'acidité titrable du yaourt enrichi était significativement plus élevée que celle du témoin pendant la période de stockage.

Par ailleurs aussi, le yaourt enrichi peut avoir un effet positif sur le gain de poids, et cela a été prouvé dans les travaux de Al-Soudy *et* al. (2020), qui ont montré que les rats traités par les yaourts enrichis en extrait de gingembre, amla et curcuma ont un poids corporel supérieur à celui des rats témoins, et le gain de poids corporel par semaine est meilleur chez les rats traités.

CHAPITRE II:

Composés phénoliques et plantes médicinales retenues

II.1. Composés phénoliques

II.1.1. Définition des composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec un glucide. Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois) et sont impliqués dans de nombreux processus physiologiques comme la croissance cellulaire, la rhizogenèse, la germination des graines ou la maturation des fruits. Les plus représentés sont les anthocyanes, les flavonoïdes, et les tanins (Boizot et Charpentier, 2006).

II.1.2. Distribution et localisation des composés phénoliques

Une des caractéristiques des composés phénoliques qu'ils partagent généralement avec l'ensemble des métabolites secondaires, est de montrer une répartition très inégale chez différentes espèces végétales et, pour une même espèce, selon la variété et le stade d'évolution physiologique. Les variations sont également considérables selon la nature des tissus et des cellules composant le végétal (Macheix *et al.*, 2005).

Dans la vacuole, sont présentes des formes simples et solubles ainsi que des formes polymérisées plus ou moins solubles (tannins hydrolysables). Par contre, les formes insolubles (lignines, formes liées à la subérine, la cutine et à des macromolécules glucidiques) sont directement associées à la paroi (Macheix, 1996).

II.1.3. Classification des composés phénoliques

Avec plus de 8000 structures phénoliques connues, les composés phénoliques constituent l'une des grandes familles de molécules largement répandues dans le règne végétal (Kabran *et al.*, 2014). Ils peuvent être regroupés en plusieurs classes dont la plupart ont des représentants chez de nombreux végétaux. Les premiers critères de distinction entre ces classes concernent le nombre d'atomes de carbone constitutifs et la structure de base du squelette carboné (Macheix, 1996). Chaque classe de composés phénoliques possède une structure chimique spécifique qui conditionne leur activité biologique.

Les différentes classes ainsi que leurs structures chimiques sont résumées dans le tableau 3 :

Tableau 3 : Principales classes des composés phénoliques.

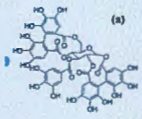
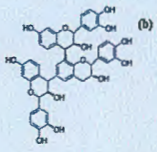
Classe	Origine	Structure chimique	Activités biologiques
Flavonoïdes	Fruits, légumes , fleurs, soja, pois	C_6-C_3-C_6	- Activité antioxydante, -Capacité à piéger les radicaux libres, -inhibition enzymatique (inhibition de l'aldose réductase) (Ghedira, 2005).
Tanins	Raisin, Kaki	Tanins hydrolysable  Tanins condensés 	-Activité antimicrobienne (Sérémé *et al.*, 2008). -liaison facile à de nombreuses molécules (protéines) (Zimmer et Cordesse, 1996). -propriétés vasculoprotectrices, cicatrisantes et antidiarrhéiques (Hennebelle *et al.*, 2004).
Lignines	Bois, fruits à noyau	$(C_3\text{-}C_3)_{10}$	-Protection des polysaccharides de la paroi cellulaire de la dégradation microbienne, -Importants facteurs limitant dans la conversion de la biomasse végétale en pâte ou en biocarburants (Vanholme *et al.*, 2010).
Acides hydroxycin-namiques	Pomme de terre, pomme	C_6- C_3	-Activité antibactérienne contre les bactéries à Gram-positif et Gram-négatif, -Plus d'efficacité contre les bactéries que les antibiotiques conventionnels (Daglia, 2012).

Tableau 3 : Principales classes des composés phénoliques (Suite).

Classe	Origine	Structure chimique	Activités biologiques
lignanes	pain	$(C_6\text{-}C_3)_2$	-Propriétés phyto-œstrogènes, -Prévenir et limiter le développement de pathologies cardiovasculaires, -Prévenir certains cancers (Lamblin *et al.*, 2008).

II.1.4. Composés phénoliques et la santé humaine

Les composés phénoliques d'origine végétale prennent de plus en plus un grand intérêt vu leurs effets fonctionnels et alimentaires bénéfiques. Outre le prolongement de conservation des denrées alimentaires, ces composés bloquent les effets des radicaux libres et protègent aussi le corps humain contre leurs dommages (Merouane *et al.*, 2014).

En effet, de nombreuses revues leur confèrent le rôle d'excellents piégeurs d'espèces réactives directement issues de l'oxygène provenant de biomolécules telles que les lipoprotéines, les protéines et les acides oligonucléiques (ADN, ARN). Cette faculté, tant étudiée et si reconnue, est fréquemment citée comme étant une clé pour la prévention et/ou la réduction du stress oxydatif en lien direct avec des maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires, la carcinogénèse et les maladies neurodégénératives. Les radicaux libres seraient aussi impliqués dans le processus de vieillissement (Quideau *et al.*, 2011).

II.2. Plantes médicinales retenues

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 80% des populations africaines ont recours à la médecine et à la pharmacopée traditionnelle pour faire face aux problèmes de santé (Khadhri *et al.*, 2013).

Les plantes médicinales riches en antioxydants naturels et en composés phénoliques sont de plus en plus utilisées dans la fabrication alimentaire car elles apportent des propriétés nutritionnelles et thérapeutiques précieuses et retardent la dégradation oxydative des lipides (Shori et Baba, 2011).

II.2.1. *Mentha Rotundifolia*

II.2.1.1. Etudes botanique

Le genre *Mentha* appartient à la famille des Lamiacées et se trouve en Europe, en Afrique, en Asie, en Australie et en Amérique du Nord. Le genre comprend environ 25 espèces et un peu moins d'hybrides. Le nombre élevé de noms taxonomiques différents attribués par les taxonomistes au cours des 200 dernières années aux plantes de menthe reflète une grande variation morphologique (Sousa Barros *et al.*, 2015).

Mentha rotundifolia (L.) Huds (Figure 5) communément appelé menthe aux pommes est une plante herbacée vivace à croissance sauvage. Elle est largement distribuée dans le nord de l'Algérie dans les zones subhumides, le long des rivières, dans les plaines et les montagnes où elle est connue sous le nom de Timija ou Timarssat (Brahmi *et al.*, 2016).

Mentha rotundifolia est un hybride de *Mentha longifolia* et de *Mentha suaveolens* alors que pour d'autres auteurs *Mentha rotundifolia* et *Mentha suaveolens* correspondent à la même espèce (Brada *et al.*, 2007).

Figure 5 : Photos des parties aériennes de la plante *Mentha rotundifolia.*

Mentha rotundifolia est une plante à souche traçante, émettant de nombreuses tiges annuelles très odorantes. Elle possède des feuilles opposées-décussées, atténuées en pétiole, des inflorescences en faux verticilles, distants, un calice presque bilabiés, à 5 dents aigues, et une corolle blanche rosée ou violet pale, à 4 lobes égaux. L'ensemble de la plante est couvert de poils denses et blanchâtres qui la rendent douce au toucher. Comme toutes les menthes, elle dégage une forte odeur caractéristique qui chez cette plante rappelle la pomme. Les petites fleurs sont rassemblées en épis terminant les rameaux ; elles s'épanouissent de juillet à septembre. La hauteur de la plante est de 25 à 80 cm, la fleur est de 5mm de long (Bounihi, 2016).

Mentha rotundifolia est classée comme suit (Bounihi, 2016) :

Embranchement : Spermaphytes

Sous embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Sous classe : Gamopétales

Ordre : Lamiales

Famille : Lamiacées

Genre : *Mentha*

Espèce : *Mentha rotundifolia*

II.2.1.2. Etude chimique

Les espèces du genre *Mentha* contiennent une gamme de composants, notamment des acides cinnamiques et des glycones, des glycosides et/ou des flavonoides acylés. Plusieurs études ont rapporté que les extraits aqueux de *Mentha* contiennent des esters d'acides phénoliques et des dérivés de flavonoïdes et des flavonoides glycosidiques hydroxylés en position 3 ou 5. L'espèce *Mentha rotndifolia* est riche en acides phénoliques comme l'acide caféique et l'acide ferulique, et en flavonoïdes tels que l'apigénine et la lutéoline (Brahmi *et al.*, 2017).

La composition chimique des huiles essentielles de *Mentha rotundifolia* poussant dans diverses parties du monde a fait l'objet de nombreux travaux et différents chémotypes ont été définis. L'un d'eux est particulièrement riche en oxyde de pipériténone. Ce monoterpène oxygéné possède des effets biologiques très intéressants (Brada *et al.*, 2007).

II.2.1.3. Utilisation pharmacologique et thérapeutique

Les cultures de menthe industrielle sont cultivées dans plusieurs pays pour leurs huiles essentielles couramment utilisées dans les industries des cosmétiques, des produits pharmaceutiques, de l'alimentation, de la confiserie et des spiritueux. Outre ses utilisations culinaires, la menthe est également utilisée en médicine traditionnelle (Brahmi *et al.*, 2017). Les parties aériennes des espèces *Mentha* ont été largement utilisées pour le traitement du rhume, du choléra, de la bronchite, de la tuberculose, de la sinusite, et pour leurs propriétés diurétiques, carminatives, antiflatulentes, expectorantes, antitussives et antioxydantes (Riahi *et al.*, 2013).

PARTIE II:

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I:

Matériel et Méthodes

L'objectif de notre travail réalisé au sein du laboratoire de contrôle de qualité du Département Microbiologie Appliquée et Sciences Alimentaires, *Université Mohammed Seddik Ben Yahia*-Jijel, est d'élaborer deux types de yaourts fermes, l'un enrichi par l'extrait polyphénolique aqueux de *Mentha rotundifolia* et l'autre par l'extrait d'*Achillea odorata* et d'étudier par la suite l'effet de cet enrichissement sur les caractéristiques physico-chimiques, nutritionnelles quelques activités biologiques dont l'activité antioxydante et l'activité inhibitrice de l'alpha amylase des yaourts par rapport à un échantillon de yaourt sans ajouts pendant 21 jours de stockage réfrigéré.

I.1. Matériel végétal

Les jeunes pousses des feuilles de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata* ont été récoltées au mois d'avril de l'année 2022 dans la région de Mazghitane et Taher (Wilaya de Jijel, Est Algérie), respectivement au cours de la période de floraison (Tableau 4).

Tableau 4 : Espèces végétales utilisées dans l'expérimentation.

Nom botanique	Famille	Région de récolte	Période de récolte
Mentha rotundifolia	Lamiacées	Mazghitan	Mois d'Avril
Achillea odorata	Astéracées	Taher	Mois d'Avril

Après leur identification par le Laboratoire d'Ecologie, Université de Jijel, les échantillons de feuilles ont été nettoyés puis mis à sécher à température ambiante dans un endroit aéré à l'ombre pour mieux conserver les molécules sensibles à la chaleur et à la lumière (Figure 7). Les broyas vont constituer la matière sèche qui va servir à la préparation des extraits aqueux.

Figure 7 : Séchage des échantillons des plantes et poudres obtenues après broyage

I.1.1. Préparation des extraits aqueux

Les extraits aqueux des plantes séchées et broyées ont été préparés selon la méthode décrite par Shori, (2020) avec quelques modifications. 50 g de poudre de chaque plante ont été mélangés avec 500 mL d'eau distillée et incubés au bain marie à 37°C pendant 24h sous agitation douce et continue (Figure 8), suivie d'une filtration avec du papier filtre Whatman. Les filtrats ont été centrifugés à 6000 rpm pendant 15 minutes à l'aide d'une centrifugeuse de type (Hettich- EBA 20, Allemagne). Les surnageants ont été récupérés dans des flacons en verre et stockés à 4°C puis utilisés dans les 7 jours suivants la préparation.

Figure 8 : Macéras obtenus après macération

I.2. Préparation du yaourt

I.2.1. Lait et ferments lactiques

La matière première utilisée pour la préparation du yaourt est le lait de vache frais. Il a été acheté dans un supermarché local à Jijel, et soumis à des tests d'acceptabilité :

- Test de stabilité à l'ébullition
- Test de réduction du bleu de méthylène.

La culture lyophilisée des bactéries lactiques utilisée fournie par la compagnie FOODS MANIA (El Harrach, Algérie) contient un mélange de deux espèces bactériennes : *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* (rapport 2/1).

I.2.2. Procédé de préparation du yaourt

Deux types de yaourt enrichi par l'extrait de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata* ont été préparés séparément selon la recette fournie par FOODS MANIS, El Harrach, Algérie. Le lait frais entier pasteurisé (2500 mL) préalablement ajusté en solides en ajoutant 125 g de lait entier

en poudre (26 % de matière grasse), a été réchauffé à 85 °C, suivi d'un refroidissement à 45°C. Le lait a été par la suite inoculé avec 2g de la poudre des ferments lyophilisés. Le lait et les ferments ont été soigneusement mélangés et aliquotés dans deux bocaux en verres stériles. 12 % (p/v) de l'extrait de *Mentha rotundifolia* ou d'*Achillea odorata* ont été rajoutés. Le yaourt témoin a été préparé de la même manière à l'exception de l'ajout des extraits. Les yaourts préparés ont été incubés à 45°C. Après 6 heures d'incubation, la fermentation a été arrêtée en plaçant tous les échantillons de yaourt dans un bain d'eau froide, suivi d'une réfrigération à 4°C jusqu'à 21 jours. Des échantillons de chaque type de yaourt ont été retirés du réfrigérateur le jour suivant (jour 1) et les jours 7,14 et 21 de stockage pour l'évaluation des différents tests.

La figure 9 présente le diagramme général des étapes de préparation des yaourts enrichi par les extraits aqueux de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata*.

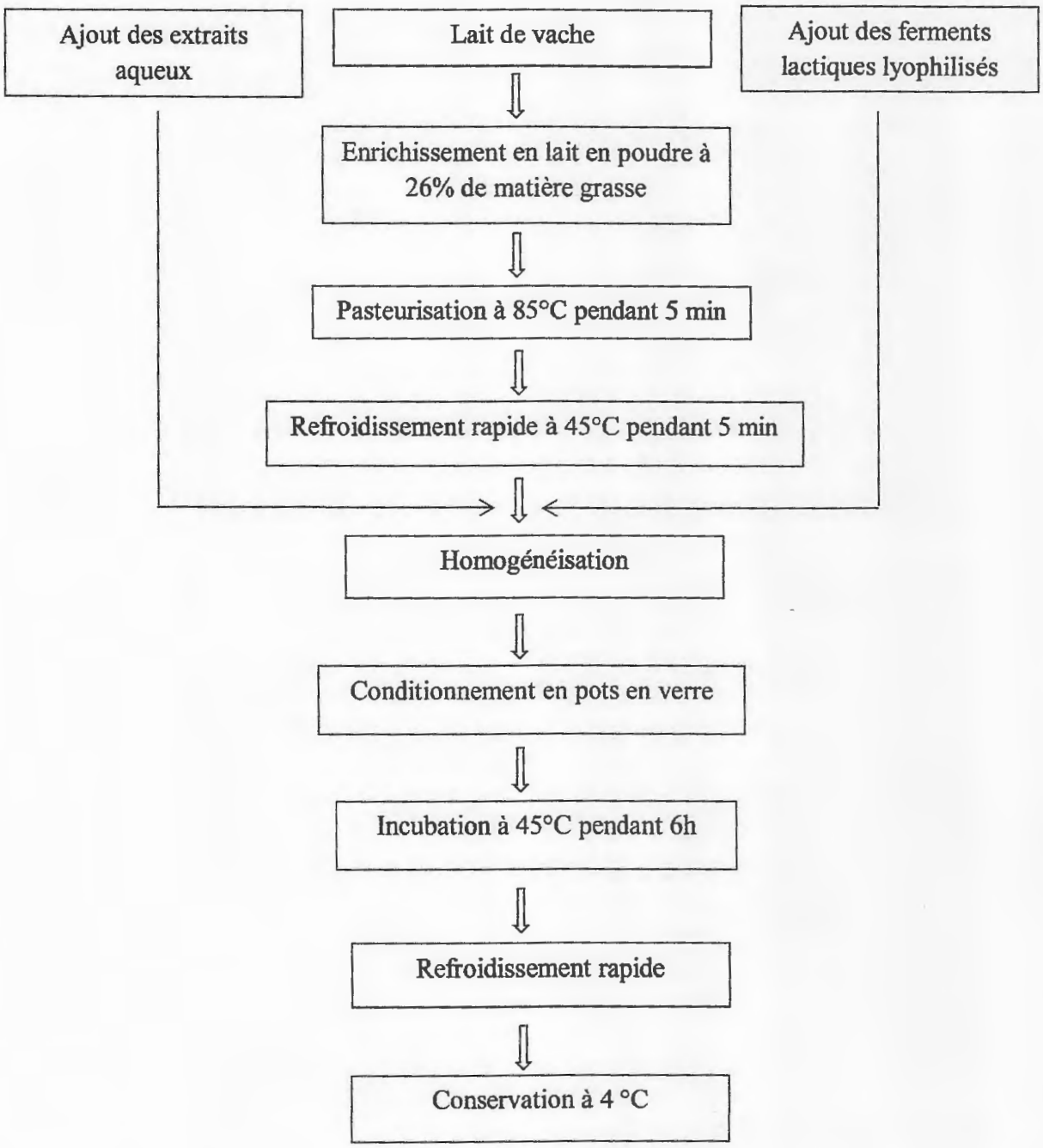


Figure 9 : Diagramme de préparation du yaourt étuvé enrichi par les extraits aqueux de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata*

I.3. Préparation du surnageant de yaourt

L'extrait de yaourt a été préparé selon la méthode décrite par Shori *et al.* (2018). Pour cela, l'échantillon de yaourt a été dilué dans de l'eau distillée dans un rapport 1/0.25. Après homogénéisation, le pH de la solution de yaourt a été ajusté à pH 4 par addition d'une solution d'HCl à 1M, suivie d'une incubation au bain-marie à 45°C pendant 10 minutes. Après

incubation, la solution a été centrifugée à 5000 rpm pendant 10 minutes dans une centrifugeuse de type (Hettich-EBA 20, Allemagne). Le culot a été jeté, et le surnageant a été neutralisé par addition d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,5 M jusqu'à pH 7, puis une seconde centrifugation à 5000 rpm a été réalisée pendant 10 minutes. Le surnageant a été recueilli et conservé dans des flacons en verre au réfrigérateur pour l'utiliser pour la quantification des polyphénols totaux et l'évaluation de quelques activités biologiques y compris l'activité antioxydante, l'inhibition de l'activité alpha-amylase, et l'activité antibactérienne .

I.4. Évaluation des paramètres physico-chimiques

I.4.1. pH

Le pH est une mesure de la concentration des ions H+ apportée par la production d'acides organiques par les bactéries lactiques (Amirdivani et Baba, 2011). Le principe consiste à la mesure de la différence de potentiel entre une électrode de mesure et une électrode de référence réunis en un système d'électrode combiné.

La mesure du pH des échantillons de yaourt pendant la durée de stockage a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre numérique calibré par des solutions standards (HANNA instruments. pH 211 Microprocessor pH Meter). Après avoir ajusté la température à 20°C, 10 g de yaourt ont été versés dans un bécher, puis l'électrode du pH-mètre a été plongé dans le yaourt jusqu'à la stabilisation de la valeur du pH. Le résultat a été pris directement à partir de l'écran de l'appareil (ISO, 2010).

I.4.2. Acidité titrable

La détermination de l'acidité titrable du yaourt est basée sur la neutralisation de l'acide lactique par la solution de l'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré (ISO, 2012).

10 mL de yaourt ont été transférés dans un bécher, et quelques gouttes de phénolphtaléines ont été ajoutées. Le mélange a été bien agité puis titré par la solution d'hydroxyde de sodium (0,1N) jusqu'au virage de la couleur au rose pale. La coloration rose doit persister au moins 10 secondes. Le résultat a été exprimé en pourcentage équivalent d'acide lactique en utilisant la formule suivante :

$$\textbf{Acidité titrable \% d'acide lactique} = V_{NaOH} \times 0{,}1 \times 10 \times 0.009 \times 100$$

Où :

V_{NaOH} : Volume de la soude versée (mL)

I.5. Etude de la qualité nutritionnelle

I.5.1. Détermination de la teneur en protéines

La détermination de la teneur en protéines a été effectuée par le dosage de l'azote total selon la méthode de Kjeldahl (AFNOR, 1993).

La méthode repose sur une minéralisation d'une prise d'essai par l'acide sulfurique (H_2SO_4) en présence d'un catalyseur, suivie d'une alcalinisation des produits de la réaction, puis distillation de l'ammoniac libéré. Ce dernier recueilli dans une solution d'acide borique est titré par une solution d'acide sulfurique.

I.5.1.1. Minéralisation

Dans un matras de Kjeldhal, 1 g de yaourt a été mélangé avec 2 g de catalyseur (mélange de sulfate de cuivre et sulfate de potassium) et 25 ml d' H_2SO_4 concentré à 97%, suivie d'un chauffage du mélange jusqu'au virage de la couleur noir à une couleur limpide. Après refroidissement, l'échantillon minéralisé a été introduit dans une fiole.

I.5.1.2. Distillation

Dans un matras, 10 mL du contenu de la fiole ont été mélangés avec 20 mL d'eau distillée et 30 mL de la soude à 35%. En parallèle, une solution d'acide borique à 0,1N a été préparée avec 10 gouttes d'indicateur de Tashiro. La distillation a été effectuée dans un appareil spécifique et arrêtée au bout de 4 minutes à compter du début d'ébullition.

I.5.1.3. Titration

Après distillation, le mélange a été titré par la solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) à 0,05N jusqu'au virage de la couleur du vert au rose-violet au virage de l'indicateur de Tashiro. L'azote total est calculé selon la formule suivante :

$$N\ (\%) = \frac{(V/V') \times (N-N') \times 0{,}05 \times 1{,}4}{P}$$

Où :

V: Volume de la solution minéralisée (mL).

V': Volume de la solution de soude ajoutée (mL).

N : Normalité de l'acide sulfurique.

N': Volume de l'acide sulfurique dépensé dans le titrage du témoin (mL).

P : Poids de la prise d'essai (g).

Le taux d'azote total est converti en taux de protéines brutes selon la formule suivante :

Taux de protéines brutes (%) = N (%) × K

Où :

K : Coefficient de conversion (6,38).

I.6. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par colorimétrie en utilisant le réactif de Folin–Ciocalteu. Ce dernier est un réactif composé d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique qui se réduisent dans un milieu basique, en présence de composés phénoliques en libérant des oxydes bleus de tungstène et de molybdène. L'intensité de la coloration bleue produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans nos echantillons (Li *et al.*, 2007). Le mélange réactionnel a été préparé en mélangeant 1 mL de l'extrait de yaourt avec 1 mL d'éthanol à 95% et 5 mL d'eau distillée. 0.5 mL de réactif de FolinCiocalteu 50% (dilué 1:1 avec de l'eau distillée) a été ajouté à chaque échantillon suivi d'un mélange soigneux à l'aide d'un vortex. Après 60 minutes d'incubation à température ambiante et à l'obscurité, l'absorbance a été mesurée à 725 nm (Shori *et al.*, 2018). La teneur en polyphénols totaux a été estimée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage (Annexe 2) établie avec l'acide gallique et est exprimée en microgramme équivalent d'acide gallique par ml de surnageant de yaourt (µg EAG/ml S).

I.7. Détermination de l'activité antioxydante

L'activité antioxydante du yaourt a été évaluée par deux méthodes :

Test du radical libre DPPH· ;

Test du pouvoir réducteur du fer.

I.7.1. Test du radical libre DPPH·

L'évaluation de l'effet scavenger des extraits envers le radical DPPH· est réalisée selon la méthode décrite par Shori *et al.*, (2018). Cette méthode permet de suivre spectrophotométriquement la cinétique de décoloration de radical DPPH· (2,2'-diphenyl-1picrylhydrazyl) de couleur violette à 517 nm. Pour cela, 250 µL de surnageant de yaourt ont été mélangés avec 3 mL d'une solution méthanolique de DPPH· à 60 Mm. Après une période d'incubation d'une heure à 25°C, les absorbances à 517 nm ont été enregistrées.

L'activité anti-radicalaire a été estimée selon l'équation suivante :

pouvoir migratoire des extraits à l'intérieur d'une boite de Petri dans un milieu nutritif solide. Elle a été appliquée par plusieurs auteurs (Yala *et al.*, 2016).

Le milieu gélosé Mueller-Hinton en surfusion a été coulé dans des boites de Petri de 90 mm de diamètre sur une épaisseur de 4 mm. Après solidification, l'ensemencement a été réalisé par écouvillonnage en stries serrées. L'opération a été répétée trois fois en tournant la boite d'environ 60° et l'ensemencement de chaque inoculat s'effectue de telle sorte à assurer une distribution homogène des bactéries sur les boites. Un puits de 6 mm circulaire a été découpé dans la gélose de chaque boite de Pétri, et a été remplit par 20 µL de chaque surnageant de yaourt. Les boites ont été par la suite incubées pendant 24 h à 37°C. L'activité antibactérienne a été déterminée à l'aide d'une règle en mesurant le diamètre de la zone d'inhibition en millimètre formée autour de chaque puits.

I.10. Analyse statistique

Les résultats ont été rapportés en moyenne ± écart type (trois répétitions) et les données ont été comparées sur la base des valeurs des moyennes. Les différences entre les moyennes ont été testées à l'aide du test Tukey-Kramer HSD (logiciel JMP version 7.0) avec un niveau significatif de 0,05.

II.1.1.2. Acidité titrable

Au cours du stockage, nous avons mesuré le pourcentage de l'acidité des trois échantillons de yaourts chaque 7 jour pendant 21 jours de stockage. Les résultats sont illustrés par la figure 11.

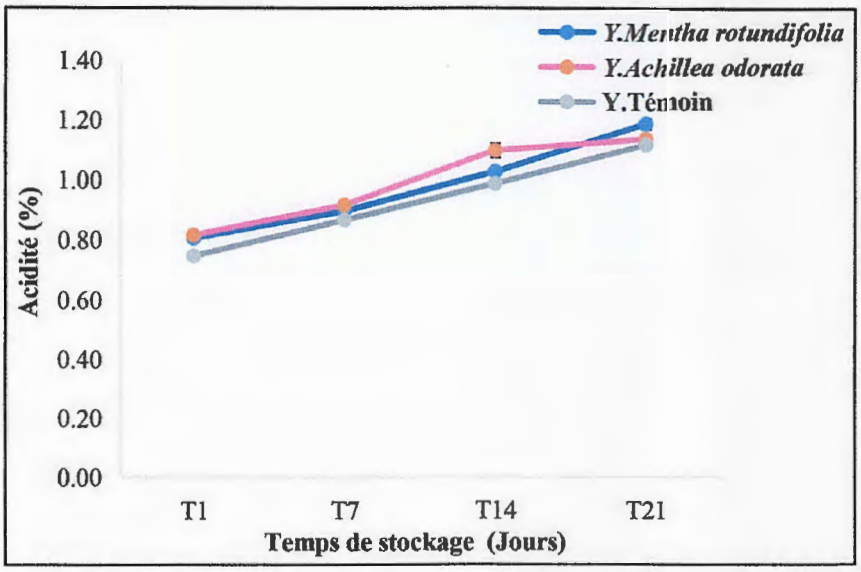


Figure 11 : Acidité titrable des trois échantillons des yaourts analysés

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes ± écart type (n = 3).

L'analyse de la figure ci-dessus, montre que le pourcentage d'acidité des différents échantillons du yaourts augmente de façon significative ($p < 0.05$) pour chaque échantillon pendant 21 jours de stockage (de 0.81% ± 0.007 à 1.19% ±0.018 pour le yaourt enrichi par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia*, de 0.82% ± 0.004 à 1.14%±0.012 pour le yaourt enrichi par l'extrait aqueux d'*Achillea odorata*, et de 0.75% ±0.014 à 1.12% ±0.011 pour le yaourt témoin).

Les résultats nous ont permis de remarquer que les échantillons des yaourts enrichis par les extraits aqueux des deux plantes possèdent un pourcentage d'acidité significativement plus élevée ($p <0.05$) par rapport à celui du témoin pendant toute la période de stockage. Cependant, une différence non significative est notée entre le yaourt enrichi par l'extrait aqueux d'*Achillea odorata* et le yaourt témoin à la fin de la période de stockage.

Nous remarquons aussi que le pourcentage d'acidité des deux échantillons de yaourts enrichis par les extraits aqueux des plantes sont significativement proches ($p <0.05$) pendant les 7 jours de stockage, par contre une différence significative est remarquée entre les deux échantillons à T 14 et T 21.

II.1.1.3. Détermination de la matière sèche

Les teneurs en extrait sec total des trois échantillons analysés sont illustrés dans la figure 12.

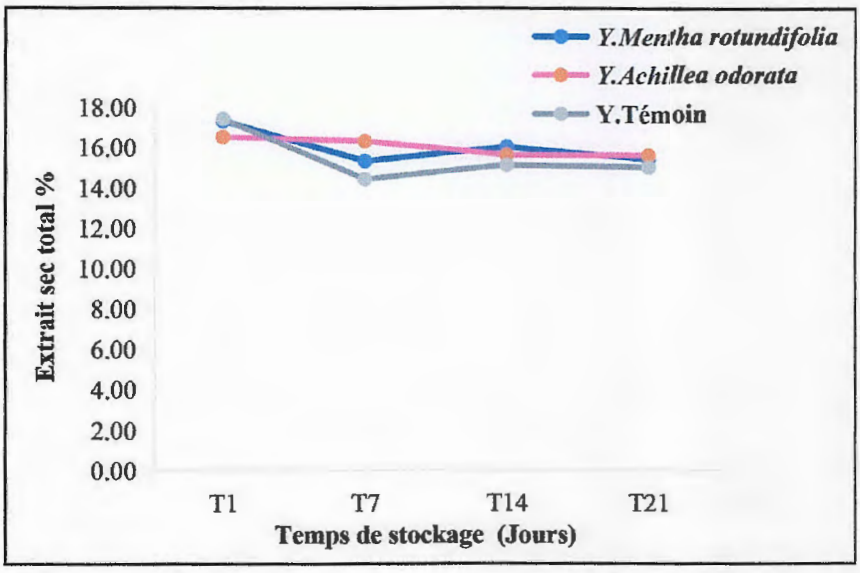


Figure 12 : Évolution de la teneur en matière sèche des trois échantillons de yaourts analysés

Les résultats montrent une diminution des teneurs de la matière sèche pour tous les échantillons du yaourt pendant les 21 jours de stockage réfrigéré.

Le yaourt témoin possède des teneurs plus basses en comparaison avec les deux yaourts enrichis pendant la période de stockage.

II.1.1.4. Détermination de la teneur en cendres

Les cendres de l'échantillon témoin et des deux échantillons enrichis par les deux plantes ont été mesurées après incinération au four à moufle. La figure 13 résume les résultats obtenus en termes de pourcentage.

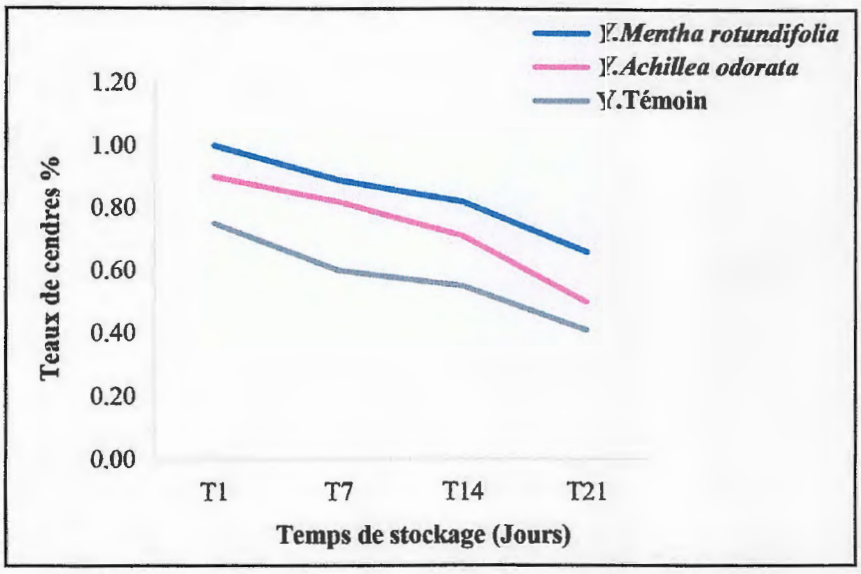


Figure 13 : Teneur en cendres des trois échantillons de yaourts analysés.

D'après les résultats, une diminution progressive de la teneur en cendres pour les trois échantillons durant toute la période de stockage est notée. En effet, les deux échantillons de yaourt enrichis par les deux extraits aqueux des plantes choisies possèdent des valeurs plus élevées par rapport à celles du yaourt témoin (de 1% à 0.66% pour le yaourt enrichi par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia,* de 0.9% à 0.5% pour le yaourt enrichi par l'extrait aqueux d'*Achillea odorata,* de 0.75% à 0.41% pour le yaourt témoin).

II.1.2. Etude de la qualité nutritionnelle

II.1.2.1. Détermination de la teneur en protéines

Au cours de la période de stockage réfrigéré, nous avons mensuré le pourcentage de la teneur en protéines par le dosage de l'azote total selon la méthode de Kjeldahl. Les résultats sont présentés dans la figure 14.

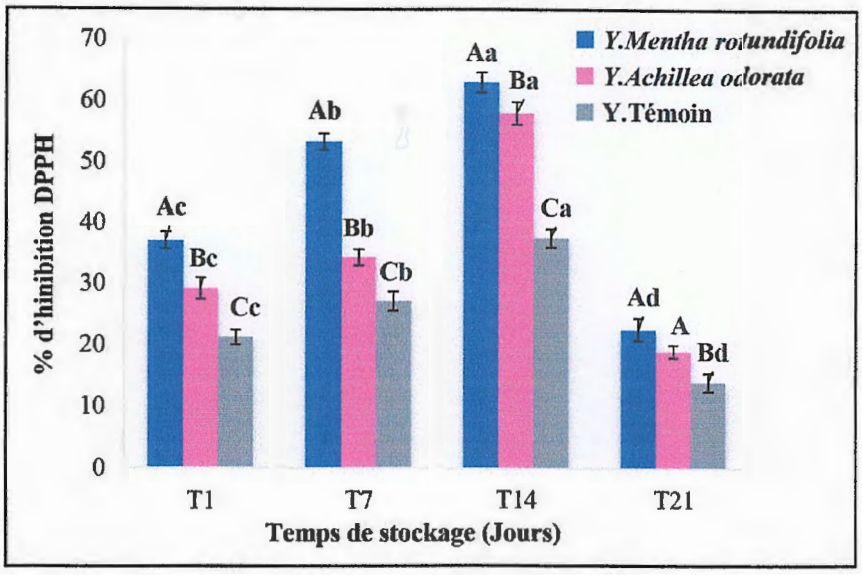


Figure 15 : Activité anti-radicalaire des trois surnageants de yaourts vis à vis du radicale DPPH

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes ± écart type (n = 3). Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes.

ABCD signifie que les exposants ayant des lettres différentes dans la même ligne sont significativement (p < 0.05) différents.

abcd signifie que les exposants ayant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement (p < 0.05) différents.

Les résultats montrent une augmentation significative ($p < 0.05$) de l'activité anti-radicalaire pour chaque surnageant analysé pendant 14 jours de stockage réfrigéré (de 37.09 % à 63.12% pour le surnageant du yaourt enrichi par l'extrait de *Mentha rotundifolia*, de 29.19% à 58.11% pour le surnageant du yaourt enrichi d'extrait d'*Achillea odorata*, et de 21.19% à 37.65% pour le surnageant du yaourt témoin). On remarque que les surnageants des yaourts enrichis par les extraits aqueux de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata* possèdent une activité significativement plus élevée par rapport à celle du surnageant témoin pendant toute la période de stockage.

Le surnageant du yaourt enrichi par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia* présente la meilleure activité anti-radicalaire tout le long de la période de stockage.

Cependant, à la fin du stockage (j21), une diminution significative ($p < 0.05$) de l'activité anti-radicalaire pour tous les surnageants de yaourts est enregistrée (22.58% ±1.85 pour le surnageant du yaourt enrichi par l'extrait de *Mentha rotundifolia*, 19.02% ±1.01 pour le surnageant de yaourt enrichi par l'extrait d'*Achillea odorata* et 14% ±1.46 pour le surnageant du yaourt témoin).

II.1.4.2. Test du pouvoir réducteur du Fer

Nous avons aussi étudié l'activité antioxydante des surnageants des yaourts enrichis par les deux extraits et le surnageant du yaourt témoin par la méthode de réduction de fer. Pour chaque échantillon nous avons mensuré les absorbances à 700 nm (Tableau 6).

Tableau 6 : Pouvoir réducteur du fer pour les trois surnageants de yaourts

Temps de stockage (Jours)	Les absorbances enregistrées à 700 nm		
	Yaourt enrichi par l'extrait aqueux de *M.rotundifolia*	Yaourt enrichi par l'extrait aqueux d'*A.odorata*	Yaourt témoin
Jour 1	0.24 ± 0.01^{Ac}	0.19 ± 0.023^{Ac}	0.116 ± 0.021^{Bc}
Jour 7	0.36 ± 0.017^{Ab}	0.32 ± 0.014^{ABb}	0.29 ± 0.013^{Bb}
Jour 14	0.48 ± 0.021^{Aa}	0.44 ± 0.019^{Aa}	0.37 ± 0.011^{Ba}
Jour 21	0.21 ± 0.018^{Ac}	0.17 ± 0.015^{Ac}	0.12 ± 0.021^{Bc}

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes ± écart type (n = 3). Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes.
^{ABCD} signifie que les exposants ayant des lettres différentes dans la même ligne sont significativement ($p < 0.05$) différents.
^{abcd} signifie que les exposants ayant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement ($p < 0.05$) différents.

Les résultats représentés dans le tableau 6 nous ont permis de remarquer une augmentation significative ($p < 0.05$) du pouvoir réducteur du fer pour chaque surnageant de yaourt pendant 14 jours de stockage (de 0.24±0.01 à 0.48±0.021 pour le surnageant de yaourt enrichi par l'extrait de *Mentha rotundifolia*, de 0.19 ±0.023 à 0.44 ±0.019 pour le surnageant du yaourt enrichi par l'extrait d'*Achillea odorata*, et de 0.11±0.021 à 0.37±0.011 pour le surnageant du yaourt témoin). Par contre une diminution des absorbances est observée pour tous les surnageants analysés à la fin de la période de conservation.

Les résultats nous ont permis aussi de remarquer que les surnageants des yaourts enrichis par les deux extraits possèdent des absorbances significativement plus élevées par rapport à celles du témoin pendant toute la période de conservation. Par contre, une différence non significative est observée entre les surnageants des deux yaourts enrichis par les deux extraits plantes.

II.1.5. Test d'inhibition de l'alpha-amylase

Les résultats du test d'inhibition de l'alpha-amylase de l'ensemble de nos échantillons sont illustrés par la figure 16.

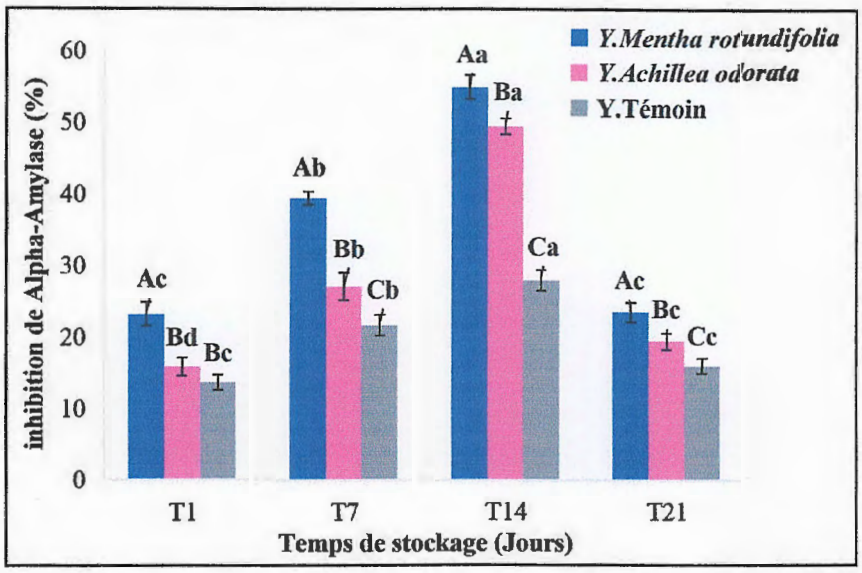


Figure 16 : Test d'inhibition de l'alpha amylase des trois surnageants de yaourts analysés.

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes ± écart type (n = 3). Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes.

ABCD signifie que les exposants ayant des lettres différentes dans la même ligne sont significativement (p < 0.05) différents.

abcd signifie que les exposants ayant des lettres différentes dans la même colonne sont significativement (p < 0.05) différents.

D'après les résultats nous remarquons une augmentation significative de l'inhibition de l'alpha-amylase pour chaque surnageant de yaourt pendant 14 jours de stockage. Les surnageants des yaourts enrichis par les extraits aqueux de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata* montrent une inhibition enzymatique plus importante par rapport au surnageant du yaourt témoin durant le long de la période de stockage. Le surnageant du yaourt enrichi par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia* montre la meilleure inhibition enzymatique pendant toute la période de stockage.

Un stockage prolongé jusqu'à 21 jours a entraîné une diminution du pourcentage d'inhibition de l'alpha-amylase pour les trois échantillons (23.66% ±1.33, 19.61% ±1.13 et 16.17% ±1.01 pour le surnageant du yaourt enrichis par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia*, le surnageant du yaourt enrichi par l'extrait aqueux d'*Achillea odorata* et le surnageant du yaourt témoin respectivement).

II.1.6. Évaluation de l'activité antibactérienne

L'évaluation du potentiel antibactérien de nos échantillons analysés a été réalisée par la méthode de diffusion en puits. C'est une technique basée sur la mesure du diamètre des zones d'inhibitions apparentes autour des puits remplies par les surnageants comme est observé par la figure 17.

Staphylococcus aureus ATCC 25923 . Surnageant du yaourt enrichi par *Mentha*

Pseudomonas aeruginosa ATCC 27893 . Surnageant du yaourt enrichi par *Mentha rotundifolia* à T14

Escherichia coli ATCC 25922 . Surnageant du yaourt enrichi par *Achillea*

Figure 17 : Activité antibactérienne des trois surnageants de yaourts envers les trois souches bactériennes testées.

Dans le tableau 7 nous rapportons les diamètres des zones d'inhibitions des échantillons des deux yaourts enrichis et du yaourt témoin relative aux souches bactériennes testées.

Tableau 7 : Mesures des diamètres des zones d'inhibition (en mm) pour les trois échantillons de yaourt analysés.

Temps de conservation (Jours)	Diamètres des zones d'inhibitions (en mm)								
	Yaourt *M.rotundifolia*			Yaourt *A.odorata*			Yaourt témoin		
	E.coli	*S.aureus*	*P.aeruginosa*	*E.coli*	*S.aureus*	*P.aeruginosa*	*E.coli*	*S.aureus*	*P.aeruginosa*
Jours 1	30	30	30	40	40	0	0	0	0
Jour 7	32	34	36	24	32	20	0	16	0
Jours 14	30	30	0	32	30	13	0	25	14
Jours 21	0	30	0	0	28	0	0	30	0

Globalement, les résultats de la mesure des zones d'inhibition montrent que les deux surnageants de yaourts enrichis par les extraits aqueux des deux plantes possèdent une activité antibactérienne plus importante en comparaison avec celle du surnageant de yaourt témoin tout le long de la période de stockage en donnant des zones d'inhibition variantes de 30 mm à 36 mm pour le surnageant de yaourt enrichi par l'extrait de *Mentha rotundifolia*, de 28 à 40 mm pour le surnageant de yaourt enrichi par l'extrait d'*Achillea odorata*, et de 0 à 30 mm pour le surnageant de yaourt témoin.

Nous remarquons que la bactérie *P.aeruginosa* est la plus résistante à l'effet antibactérien des surnageants de yaourt tout le long de la période de stockage.

II.2. Discussion

L'identification et l'isolement des biomolécules à partir des plantes médicinales constituent un grand intérêt dans le domaine pharmaceutique. Récemment, l'industrie agroalimentaire est un autre secteur qui s'intéresse aussi à l'utilisation des extraits de plantes pour répondre aux besoins croissants des consommateurs à de nouveaux produits fonctionnels et enrichis.

Dans la présente étude, nous avons évalué l'effet de l'ajout des extraits aqueux des deux plantes médicinales *Mentha rotundifolia* et *Achillea odorata* sur les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles des deux yaourts enrichis et sur les activités biologiques des surnageants des deux échantillons de yaourts enrichis comparés par à un échantillon de yaourt témoin.

En effet, l'évaluation des paramètres physico-chimiques des denrées alimentaires est un point très important, il peut nous renseigner sur la qualité du produit alimentaire.

Dans la présente étude, les résultats ont montré une diminution progressive des valeurs du pH des trois échantillons pendant toute la période de stockage réfrigéré. Cela pourrait être dû à la décomposition des substrats fermentescibles et des sucres par les micro-organismes, en particulier les espèces de lactobacilles, qui fermentent les glucides pour produire de l'énergie et principalement de l'acide lactique (Amirdivani, 2015).

En parallèle, les résultats montrent aussi que les valeurs du pH des échantillons des yaourts enrichis par les extraits aqueux des deux plantes, et celles de l'échantillon témoin sont significativement proches. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Shori. (2020[a]) qui a trouvé que la présence de l'extrait aqueux de gingembre n'a pas amélioré de façon significative la réduction du pH du yaourt enrichi par rapport au yaourt témoin pendant toute la

période de stockage. Néanmoins, les valeurs du pH enregistrées pour nos échantillons de yaourts enrichis sont toujours dans l'intervalle de 4.1 à 4.7, permettant d'améliorer la fonctionnalité et la saveur du produit (Lee *et al.*, 2017 et Won *et al.*, 2018). Par conséquent, l'enrichissement du yaourt par les extraits aqueux des deux plantes médicinales permet de maintenir un pH approprié pendant le stockage.

Dans la caractérisation physico-chimique il est aussi important de mesurer l'acidité titrable. C'est un paramètre définitif des produits laitiers fermentés (Mocanu *et al.*, 2010). La détermination de l'acidité titrable est plus importante dans l'évaluation de la post acidification par les bactéries lactiques (Shori, 2020[a]). Elle donne la mesure de tous les acides d'un aliment, le manque de cette dernière rend l'aliment sans saveur, alors qu'une acidité trop forte lui confère un goût désagréable (Ferhoum, 2010). Les résultats de notre expérimentation ont montré que la présence des extraits aqueux de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata* a augmenté de façon significative l'acidité titrable des échantillons de yaourts enrichis par rapport à l'échantillon témoin. Ces résultats concordent avec ceux rapportées par Joung *et al.* (2016) et Shori. (2022) qui ont remarqué que tous les échantillons de yaourts enrichis par les extraits aqueux des plantes étudiées ont montré une acidité titrable plus élevée que celle du yaourt témoin. Selon kim *et al.* (2019), l'acidité titrable du yaourt augmente régulièrement pendant le stockage en raison de l'accumulation d'acide lactique et d'acide formique produits par les bactéries lactiques.

La détermination de la matière sèche dans le yaourt est aussi un paramètre important dans l'évaluation de la qualité physico-chimique. Nos résultats ont montré une diminution de la teneur en matière sèche dans tous les échantillons de yaourts. Les échantillons de yaourts enrichis par les extraits aqueux des deux plantes ont présenté des teneurs en matière sèche plus élevées par rapport à l'échantillon témoin.

Nos données expérimentales, ont aussi montré une diminution du taux de cendres de tous les échantillons de yaourts pendant toute la période de stockage. Le taux de cendres est le reflet de la quantité de minéraux présents dans la matière alimentaire (Oguneyemi *et al.*, 2021). Par conséquent, sa diminution peut être due à l'activité des ferments lactiques qui conduit à l'épuisement des éléments minéraux dans le yaourt.

Il est important de souligner que les études précédentes sur la détermination de la teneur en matière sèche et du taux de cendres dans le yaourt enrichi par les extraits aqueux des plantes médicinales sont rares ou inexistantes dans la littérature, ce qui a rendu la comparaison de nos résultats avec d'autres études difficile.

En plus de la qualité physico-chimique, la qualité nutritionnelle est un autre volet important à analyser dans les produits laitiers dont le yaourt. Dans ce contexte, nous avons réalisé deux dosages différents à savoir: le dosage des protéines et le dosage des sucres.

Les protéines alimentaires d'origine végétale occupent une grande partie dans l'alimentation humaine, car elles remplissent des fonctions essentielles, elles peuvent être des enzymes, des transporteurs de nutriments et même des agents de défense (Petrusan *et al.*, 2016). Pour cela, nous avons dosé les protéines présentes dans les trois échantillons de yaourt analysés. Nos résultats ont montré une diminution progressive au cours de la période de stockage, avec des pourcentages proches en comparant les deux yaourts enrichis avec le yaourt témoin, cette diminution témoigne d'une activité métabolique des ferments lactiques. Un autre point a été aussi soulevé est que l'échantillon de yaourt enrichi par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia* a présenté le pourcentage le plus élevé en protéines par rapport aux autres échantillons. Cela peut être probablement dû à la richesse de cette plante en protéines comme l'ont montré Tucker et Fairbrothers. (1970).

En raison de la faible teneur des yaourts en composés phénoliques, leur enrichissement par les extraits de plantes riches par ces métabolites secondaires présente une nouvelle stratégie de production de yaourts de meilleure qualité. L'analyse de nos résultats a montré que l'ajout des extraits aqueux de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata* au yaourt a entraîné une augmentation significative du contenu phénolique total dans les surnageants de yaourts enrichis par rapport au surnageant de yaourt témoin. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par Shori et Baba. (2011[b]) ; Joung *et al.* (2016) ; Park *et al.* (2018) et Kim *et al.* (2019) qui ont remarqué aussi que l'ajout des différents extraits aqueux des plantes médicinales utilisées dans le yaourt a amélioré la teneur en composés phénoliques par rapport au témoin.

En effet, Cette augmentation de la concentration des composés phénoliques durant les deux premières semaines de stockage, peut être expliquée par la libération graduelle des composés phénoliques associés au protéines du lait (Muniandy *et al.*, 2017).

La teneur la plus élevée en polyphénols a été enregistrée avec le surnageant de yaourt enrichi par l'extrait aqueux de *Mentha rotundifolia.* Cela peut être dû à la richesse de cette plante en polyphénols comme a été rapporté par Brahmi *et al.* (2015) et Boussouf *et al.* (2017).

Par ailleurs, les valeurs du contenu phénolique total enregistrées dans le surnageant de yaourt témoin reflètent les composés phénoliques liés à la dégradation des protéines du lait. La tyrosine,

par exemple, a une chaîne latérale phénolique suggérée pour augmenter la teneur en polyphénols dans le yaourt (Amirdivani, 2015).

Cependant, la diminution des polyphénols à la fin de la période de stockage pour les trois échantillons peut être expliquée par la dégradation des polymères phénoliques en présence de bactéries lactiques lors du stockage réfrigéré (Muniandy *et al.*, 2017 ; Cho *et al.*, 2020 ; Shori, 2020[a]).

Les plantes médicinales riches en composés phénoliques sont connues d'avoir des propriétés antioxydantes importantes. En effet, une seule méthode n'est pas suffisante pour caractériser le pouvoir antioxydant d'un échantillon, c'est pourquoi notre choix s'est porté sur l'application de deux tests à savoir ; le test de piégeage du radical libre DPPH· et le test de réduction de fer.

Le DPPH· est un radical libre stable qui accepte un électron ou un radical d'hydrogène pour devenir une molécule stable. La capacité de réduction du radical DPPH· est déterminée par la diminution de son absorbance induite par les antioxydants (Zbadi *et al.*, 2018). Dans la présente étude, nous avons remarqué que la présence des extraits aqueux des deux plantes médicinales a augmenté de façon significative l'activité anti-radicalaire des surnageants de yaourts enrichis par rapport au surnageant du yaourt témoin. Cela peut être probablement lié au contenu phytochimique des deux extraits de plantes notamment, en composés phénoliques, ainsi que les activités métaboliques microbiennes (Joung *et al.,* 2016) qui induisent l'apparition de peptides bioactives suite à la dégradation des protéines du lait (Virtanen e*t al.,* 2007). En outre, Sah *et al.* (2014) ont signalé que lorsque le degré d'hydrolyse des protéines du lait augmentait, l'effet antioxydant des radicaux DPPH· et ABTS augmentait également. Nos résultats concordent avec ceux de Behrad *et al.* (2009) qui ont trouvé que les yaourts enrichis par les extrait aqueux de *Cinnamon* et de *Licorice* avaient une activité anti-radicalaire plus élevée par rapport à l'échantillon témoin. Egalement, avec ceux de Muniandy *et al.* (2016), qui ont indiqué aussi une augmentation de l'activité antiradicalaire des yaourts enrichis par les extraits aqueux du thé vert, blanc, et noir. Mêmes constatation ont été aussi rapportées par Hong *et al.* (2020) qui ont trouvé que l'ajout du jus de paprika a conduit à une augmentation de l'activité anti-radicalaire dans le yaourt enrichi, et par Lee *et al.* (2021) qui ont enregistré que le yaourt enrichi par l'extrait de Ginseng a présenté une activité anti-radicalaire plus importante par rapport au yaourt témoin.

Par contre, à la fin de la période de stockage réfrigéré une diminution significative de l'activité anti-radicalaire a été clairement observée dans tous nos échantillons . Cela peut être attribué à la dégradation croissante des composés phénoliques ayant des activités antioxydantes et/ou à

l'augmentation de l'interaction entre les protéines du lait et les polyphénols (Amirdivani et Baba, 2011 ; Shori, 2020).

D'un autre côté, il est aussi intéressant de signaler l'activité anti-radicalaire enregistrée dans le surnageant du yaourt témoin qui peut être liée à la présence de caséine, de protéines de lactosérum, de peptides, d'acides aminés, d'acide urique, de vitamines C, E, D et A, de β-carotène et de systèmes enzymatiques comme la SOD (Superoxydedismutase), la catalase et le glutathion peroxydase, ainsi de coenzyme Q10 et de l'activité antioxydante des bactéries lactiques (Fardet et Rock, 2017).

La détermination du pouvoir réducteur du fer est une analyse simple dans son application est en tout point complémentaire au test DPPH·. En effet, l'augmentation de l'absorbance dans le milieu réactionnelle indique une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés (Kim *et al*, 2019). A la lumière de nos résultats, nous avons constaté que les surnageants des deux yaourts enrichis présentaient des absorbances significativement plus élevées par rapport au surnageant du yaourt témoin pendant toute la période de stockage. Ces résultats sont en corrélation avec l'étude de Cho *et al.* (2020) qui ont constaté l'augmentation successive du pouvoir réducteur de fer pour un yaourt enrichi par l'extrait de feuille d'olivier. Cette augmentation en absorbances peut être liée à la richesse des deux plantes en composés phénoliques connus par leurs importante activité réductrice du fer (Boutennoun *et al.*, 2014 ; Ferdjioui *et al.*, 2019). Également, cette activité réductrice peut être liée à l'apparition de peptides bioactifs par le biais des systèmes protéolytiques des bactéries lactiques (Fardet et Rock, 2017). Cependant, la décroissance enregistrée des absorbances de tous les surnageants de yaourts le 21ème jours de stockage réfrigéré est probablement due à la dégradation oxydative, et à la polymérisation des composés phénoliques pendant la fermentation (Muniandy *et al.*, 2016).

Des résultats contradictoires ont été signalés dans l'étude menée par Muniandy *et al.* (2016) en étudiant l'influence de l'addition du thé vert au yaourt sur l'activité réductrice du fer pendant l'entreposage réfrigéré, car ils ont enregistrés une diminution progressive des absorbances des échantillons testés pendant toute la période de stockage.

La détermination du pourcentage d'inhibition de l'enzyme alpha amylase est une nouvelle approche qui permet d'analyser l'effet thérapeutique et préventif d'un yaourt enrichi par les extraits de plantes médicinales. L'alpha-amylase est une enzyme présente dans le suc pancréatique et dans la salive qui décompose les grosses molécules d'amidon insolubles en molécules absorbables qui peuvent être facilement prêtes pour l'absorption intestinale. Par

conséquent, l'inhibition de cette enzyme dans le tube digestif de l'homme est considérée comme efficace pour contrôler le diabète en diminuant l'absorption du glucose à partir de l'amidon (Fazilah e*t al.,* 2020). La présente étude a montré que l'ajout des extraits aqueux de *Mentha rotundifolia* et d'*Achillea odorata* a amélioré la capacité du surnageant de yaourt à inhiber l'activité de l'alpha amylase par rapport au surnageant de yaourt témoin pendant toute la période de stockage. L'effet inhibiteur plus élevé des surnageants de yaourts enrichis par les extraits aqueux des plantes peut être associé aux composés phénoliques présents dans ces extraits, ce qui indique que les composés phytochimiques peuvent être plus pertinents dans l'évaluation du potentiel du yaourt enrichi en extraits de plantes médicinales dans l'inhibition de cette enzyme (Shori, 2020[a]). Nos résultats sont en cohérence avec ceux rapportés par Fazilah *et al.*, (2020) et Shori, (2020[a]) qui ont remarqué que l'ajout des extraits aqueux de différentes plantes utilisées a amélioré la capacité inhibitrice de cet enzyme dans le yaourt enrichi par rapport au yaourt témoin.

Enfin, pour l'activité antibactérienne de nos échantillons de yaourts, les résultats ont montré que les surnageants des yaourts enrichis par les extraits présentent une activité plus importante par rapport à celle du surnageant du yaourt témoin. Ces résultats concordent avec ceux de Sah *et al.*(2016), qui ont observé que l'ajout de poudre d'écorce d'ananas a significativement augmenté l'activité antibactérienne du yaourt probiotique. Cette activité peut être expliquée d'une part par l'activité antibactérienne des composés phytochimiques présents dans les extraits des deux plantes connus dans la littérature par leur activité antibactérienne (Boutennoun *et al.*, 2014 ; Brahmi *et al.*, 2017), et d'autre part par les protéinases extracellulaires et certaines peptidases intracellulaires des cultures bactériennes qui produisent de l'acide lactiques, des composés aromatiques ainsi qu'une large gamme d'oligopeptides pendant le processus de fermentation suivi du stockage. Il est connu que les peptides du yaourt, obtenus notamment à partir de lait de bovin et d'ovin, ont des propriétés antimicrobiennes (Sultan *et al.*, 2018 ; Abdelhamid *et al.*, 2019). Par ailleurs, l'activité antibactériennes enregistrée par le surnageant de yaourt témoin contre *Staphylococcus aureus* aux 7ème , 14ème et 21ème jours de stockage et contre *Pseudomonas aeruginosa* au 14ème jour de stockage peut être expliquée par la présence des bactéries lactiques qui produisent des acides organiques et des substances chimiques de faible poids moléculaire (bactériocines). En effet, les acides organiques, en particulier les acides acétiques et lactiques, ont un fort impact inhibiteur sur les bactéries Gram-négatif et sont considérés comme les principales substances antimicrobiennes responsables de l'action inhibitrice des probiotiques sur les agents pathogènes (Das *et al.*, 2022).

CONCLUSION

Le yaourt est le produit laitier le plus consommé au monde depuis très longtemps. Ces dernières années, l'utilisation des extraits de plantes médicinales comme additifs dans la production des yaourts présente un intérêt et une nouvelle approche pour le développement de nouveau s produits laitiers avec des caractéristiques améliorées.

Le travail que nous avons réalisé avait comme objectif d'évaluer l'effet de l'enrichissement du yaourt par les extraits des deux plantes médicinales *Mentha rotundifolia* et *Achillea odorata* sur quelques paramètres physico-chimiques, sur la composition en nutriments et en polyphénols, et également d'étudier l'effet sur quelques activités biologiques, notamment l'activité antioxydante, l'inhibition enzymatique de l'alpha amylase ainsi que l'activité antibactérienne.

En effet, l'ajout des extraits aqueux des deux plantes n'a pas montré un effet significatif sur le pH des yaourts enrichis. Les deux échantillons de yaourt enrichis ont présenté des valeurs significativement proches de celles de l'échantillon de yaourt témoin. Par contre pour l'acidité titrable, nous avons remarqué que les yaourts enrichis par les extraits de plantes ont présenté des pourcentages de l'acidité titrable significativement plus élevés par rapport au yaourt témoin.

En outre, d'après les résultats obtenus nous avons constaté que la teneur en protéines n'a pas été fortement influencée par l'ajout des deux extraits, car des teneurs très proches ont été enregistrées dans les trois échantillons de yaourts.

Concernant la composition phytochimique et particulièrement la teneur en polyphénols totaux, nous avons remarqué que les surnageants des deux yaourts enrichis ont montré des teneurs significativement plus élevées comparativement au yaourt témoin tout le long de la période de stockage.

Par ailleurs, dans notre étude expérimentale nous nous sommes aussi intéressés par l'étude de l'effet de l'ajout des extraits de plantes sur les propriétés antioxydantes de nos échantillons. Les résultats ont montré que l'ajout des deux extraits de plantes a influencé positivement le pourcentage d'inhibition du radical DPPH·.

Concernant le pouvoir réducteur du Fer, l'analyse statistique a montré des absorbances significativement plus élevées dans les surnageants des deux yaourts enrichis comparés au surnageant du yaourt témoin.

Également, l'évaluation de l'effet de l'enrichissement sur l'inhibition enzymatique de l'alpha amylase a été réalisée dans notre étude expérimentale. Les résultats ont montré que l'ajout des

deux extraits a influencé de manière significative l'activité inhibitrice de cette enzyme dans les deux surnageants de yaourts enrichis.

Dans la dernière partie de notre travail, nous avons évalué l'effet de l'ajout des deux extraits des deux plantes sur l'activité antibactérienne des surnageants des yaourts enrichis envers trois souches bactériennes.

D'après les résultats nous avons remarqué que les deux yaourts enrichis ont exercés une activité antibactérienne plus importante contre les trois souches testées comparée à celle du yaourt témoin.

L'ensemble de nos résultats obtenus constitue une justification scientifique de l'importance de l'ajout des extraits aqueux des deux plantes médicinales *Mentha rotundifolia* et *Achillea odorata.* Ces deux plantes constituent une bonne source de polyphénols qui jouent un rôle important sur la santé humaine. Consommer un yaourt enrichis par les extraits aqueux de ces deux plantes peut donc améliorer la santé et la protéger à l'égard des effets néfastes des radicaux libres et du diabète.

Cependant, cette étude ne constitue qu'une étape préliminaire et il serait intéressant d'étayer ce travail par la:

- Caractérisation et détermination du profil biochimique des différentes molécules actives présentes dans les extraits ainsi que dans les surnageants de yaourts.
- Détermination et caractérisation nutritionnelle complète des yaourts enrichis.
- Réalisation des analyses sensorielles afin de nous permettre de connaître les préférences des consommateurs et leurs avis vis-à-vis de ces yaourts enrichis.
- Évaluation d'autres activités biologiques *in vitro* notamment l'activité inflammatoire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Abdel-Hamid, M., Romeih, E., Huang, Z., Enomoto, T., & Huang, L., Li, L. (2019). Bioactive properties of probiotic set-yogurt supplemented with Siraitia grosvenorii fruit extract. *Food chemistry*, 303, 125400.

Adolfsson, O., Meydani, S. N., & Russell, R. M. (2004). Yogurt and gut function. *The American journal of clinical nutrition*, 80(2), 245-256.

AFNOR, (1993). Contrôle de la qualité des produits alimentaires : lait et produits laitiers : analyses physico-chimiques. 4ème Ed. Paris La Défense, p 581.

Al-Soudy, M., Elbatawy, O. I., Abdel Fattah, A. A., Gohari, S. T., & El-Dsouky, W. I. (2020). Production of Function yogurts drink fortified with different types of herbal extracts and study its biological attributes in hepatitis rats. *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 28(1), 217-228.

Amirdivani, S. (2015). Inclusion of *Allium sativum* in yogurt and its effects on inhibition of diabetes and hypertension-associated by enzymes *in vitro*. *Applied Food Biotechnology*, 2(3), 29-37.

Amirdivani, S., & Baba, A. S. (2011). Changes in yogurt fermentation characteristics, and antioxidant potential and *in vitro* inhibition of angiotensin-1 converting enzyme upon the inclusion of peppermint, dill and basil. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6), 1458-1464.

B

Béal, C., & Sodini, I. (2003). Fabrication des yaourts et des laits fermentés. *Techniques de l'Ingénieur, traité Agroalimentaire*, 3-16.

Behrad, S., Yusof, M. Y., Goh, K. L., & Baba, A. S. (2009). Manipulation of probiotics fermentation of yogurt by *cinnamon* and *licorice*: effects on yogurt formation and inhibition of *Helicobacter* pylori growth *in vitro*. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 60, 590-594.

Benali, T., Habbadi, K., Khabbach, A., Marmouzi, I., Zengin, G., Bouyahya, A., & Hammani, K. (2020). GC–MS analysis, antioxidant and antimicrobial activities of *Achillea odorata* subsp. *Pectinata* and *Ruta montana* essential oils and their potential use ase food preservatives. *Food*, 9(5), 668.

Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition reviews*, 73(suppl_1), 4-7.

FOODS MANIA, El Harrach, Algérie.

G

Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.

H

Hashim, A., Khan, M. S., Khan, M., Baig, M., & Ahmad, S. (2013). Antioxidant and α-amylase inhibitory property of *Phyllanthus virgatus* L.: an *in vitro* and molecular interaction study. *BioMed Research International*, 2013, 12p.

Hennebelle, T., Sahpaz, S., & Bailleul, F. (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisations et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *Phytothérapie*, 2(1), 3-6.

Hong, H., Son, Y. J., Kwon, S. H., & Kim, S. K. (2020). Biochemical and antioxidant activity of yogurt supplemented with paprika juice of different colors. *Food Science of Animal Resources*, 40(4), 613.

I

ISO 5546. (2010). Determination du pH : Caséines et caséinates (2eme édition). Internatinal Standard Organisation.

ISO 11869. (2012). Determination de l'acidité titrable : Laits fermentés (1ere édition). Internatinal Standard Organisation.

J

Jeantet, R., Croguennec, T., Mahaut, M., Schuck, P., & Brulé, G. (2008). *Les produits laitiers.*

Joung, J. Y., Lee, J. Y., Ha, Y. S., Shin, Y. K., Kim, Y., Kim, S. H., & Oh, N. S. (2016). Enhanced microbial, functional and sensory properties of herbal yogurt fermented with Korean traditional plant extracts. *Korean journal for food science of animal resources*, 36(1), 90.

Li, H.B., Cheng, K.W., Wong, C.C., Fan, K.W., Chen, F., & Tian, Y. (2007). Evaluation of antioxidant capacity and total phenolic content of different fraction of selected microalgae. *Food Chemistry*, 102, 771-776.

M

Macheix, J.J. (1996). Les composés phénoliques des végétaux: quelles perspectives à la fin du XXème siècle?. *Acta botanica gallica*, 143(6), 473-479.

Macheix, J.J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. *Presses polytechniques et universitaires romandes*, 185p.

Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G., Schuck, P. (2000). Les produits industriels laitières. Tech&Doc, Lavoisier, Paris. pp178.

Marty-Teysset, C., De La Torre, F., & Garel, J. R. (2000). Increased production of hydrogen peroxide by *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* upon aeration: involvement of an NADH oxidase in oxidative stress. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(1), 262-267.

Merouane, A., Noui, A., Ali, K. N. B., & Saadi, A. (2014). Activité antioxydante des composés phénoliques d'huile d'olive extraite par méthode traditionnelle. *International journal of biological and chemical sciences*, 8(4), 1865-1870.

Mocanu, D., Rotaru, G., Botez, E., Andronoiu, D., & Nistor, O. (2010). Probiotic yogurt with medicinal plants extract: Physical–chemical, microbiological and rheological characteristics. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 16(4), 469-476.

Moroh, J., Bahi, C., Dje, K., Loukou, Y., & Guede-Guina, F., (2008). Etude de l'activité antibactérienne de l'extrait acétatique (EAC) de *Morinda morindoides* (Baker) milne-redheat (*Rubiaceae*) sur la croissance *in vitro* des souches d'*Escherichia coli. Bulletin de la société royale des sciences de Liège*, 77, 44-61.

Muniandy, P., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2016). Influence of green, white and black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 8, 1-8.

Muniandy, P., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2017). Comparison of the effect of green, white and black tea on *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus spp.* in yogurt during

refrigerated storage. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 22(1), 26-30.

N

Nagaoka, S. (2019). Yogurt production. **In :** Lactic acid bacteria. Methods and protocols. New York. Humana Press.pp 45-54.

Norme Algérienne NA679. (2010). Concernant le lait, détermination de la matière sèche.

Norme Algérienne NA732. (1990). Concernant les céréales et produits de moutures détermination des cendres à 550 C°.

O

Ogunyemi, O., Gyebi, G., Shaibu, R., Fabusiwa, M., & Olaiya, C. (2021). Antioxidant, Nutritional, and Physicochemical Quality of Yoghurt Produced from a Milk-Based Fermentation Mix Enhanced with Food Spices. *Croatian journal of food science and technology*, 13(2), 201-209.

Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese journal of nutrition and dietetics*, 44(6), 307-315.

P

Park, H., Lee, M., Kim, K. T., Park, E., & Paik, H. D. (2018). Antioxidant and antigenotoxic effect of dairy products supplemented with red ginseng extract. *Journal of dairy science*, 101(10), 8702-8710.

Petrusán, J. I., Rawel, H., & Huschek, G. (2016). Protein-rich vegetal sources and trends in human nutrition: a review. *Current Topics Peptde Protein Research*, 17, 1-19.

Q

Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., & Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586-621.

R

Riahi, L., Elferchichi, M., Ghazghazi, H., Jebali, J., Ziadi, S., Aouadhi, C., Chograni, H., Zouali,Y., Zoghlami, N., & Mliki, A. (2013). Phytochemistry, antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils of *Mentha rotundifolia* L. in Tunisia. *Industrial Crops and Products*, 49, 883-889.

S

Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2014). Effect of probiotics on antioxidant and antimutagenic activities of crude peptide extract from yogurt. *Food chemistry*, 156, 264-270.

Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Antibacterial and antiproliferative peptides in synbiotic yogurt—Release and stability during refrigerated storage. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4233-4242.

Savadogo, A., & Traore, A. S. (2011). La flore microbienne et les propriétés fonctionnelles des yaourts et laits fermentés. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *5*(5), 2057-2075.

Sérémé, A., Millogo-Rasolodimby, J., Guinko, S., & Nacro, M. (2008). Concentration en tanins des organes de plantes tannifères du Burkina Faso. *Journal de la Société ouest-africaine de chimie*, 25(1), 55-61.

Sfakianakis, P., & Tzia, C. (2014). Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: a review. *Foods*, 3(1), 176-193.

Shori, A. B. (2020[a]). Inclusion of phenolic compounds from different medicinal plants to increase α-amylase inhibition activity and antioxidants in yogurt. *Journal of Taibah University for Science*, 14(1), 1000-1008.

Shori, A. B. (2020[b]). Proteolytic activity, antioxidant, and α-Amylase inhibitory activity of yogurt enriched with coriander and cumin seeds. *Food science and technologie*, 133, 109912.

Shori, A. B. (2022). Storage quality and antioxidant properties of yogurt fortified with polyphenol extract from nutmeg, black pepper, and white pepper. *Electronic Journal of Biotechnology*, 57, 24-30.

Shori, A. B., & Baba, A. S. (2011[a]). Comparative antioxidant activity, proteolysis and in vitro α-amylase and α-glucosidase inhibition of *Allium sativum*-yogurts made from cow and camel milk. *Journal of Saudi Chemical Society*, 18(5), 456-463.

Shori, A. B., & Baba, A. S. (2011[b]). *Cinnamomum verum* improved the functional properties of bioyogurts made from. camel and cow milks. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(2), 101-107.

Shori, A. B., Rashid, F., & Baba, A. S. (2018). Effect of the addition of phytomix-3+ mangosteen on antioxidant activity, viability of lactic acid bacteria, type 2 diabetes key-enzymes, and sensory evaluation of yogurt. *Food science and technologie*, 94, 33-39.

Sousa Barros, A., de Morais, S. M., Ferreira, P. A. T., Vieira, Í. G. P., Craveiro, A. A.,dos Santos Fontenelle, R. O., & de Sousa, H. A. (2015). Chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha* species. *Industrial Crops and Products*, 76, 557-564.

Sultan, S., Huma, N., Butt, M. S., Aleem, M., & Abbas, M. (2018). Therapeutic potential of dairy bioactive peptides: A contemporary perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(1), 105-115.

Syndifrais, M. (1997). Yaourts, laits fermentés. *Le Lait*, 77(3), 321-358.

T

Tamime, A.Y., & Deeth, H.C. (1980). Yaourt : technologie et biochimie. *Journal of food protection*, 43 (12), 939-977.

Tribby, D. (2009). Yogurt. **In** : The Sensory Evaluation of Dairy Products. Springer. New York. 191-223.

Tucker, A. O., & Fairbrothers, D. E. (1970). Extraction of leaf proteins of *Mentha* (Labiatae) for disc-electrophoresis. *Phytochemistry*, 9(7), 1399-1403.

V

Vanholme, R., Demedts, B., Morreel, K., Ralph, J., & Boerjan, W. (2010). Biosynthèse et structure de la lignine. *Physiologie végétale*, 153 (3), 895-905.

Virtanen, T., Pihlanto, A., Akkanen, S., & Korhonen, H. (2007). Development of antioxidant activity in milk whey during fermentation with lactic acid bacteria. *Journal of applied microbiology*, 102(1), 106-115.

W

Won, J. I., Lee, J. H., Park, H. I., Cho, Y. U., Choi, I. D., Lee, S. K., & Choi, H. S. (2018). Quality characteristics of commercial semisolid type yogurt in Korea. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition,* 47(11), 1185-1190.

Y

Yala, J. F., Ntsameso-Mve-Mba, V., Issembe, Y. A., Lepengue, N. A., & Souza, A. (2016). Évaluation *in vitro* de l'activité antimicrobienne de l'extrait aqueux d'*Eryngium foetidium* récolté dans la ville de Franceville. *Journal of Applied Biosciences*, 103, 9886-9893.

Yıldırım, A., Mavi, A., & Kara, A. A (2001). Détermination des activités antioxydantes et antimicrobiennes des extraits de *Rumex crispus L. Journal de chimie agricole et alimentaire*, 49 (8), 4083-4089.

Yildiz, F. (2010). Overview of Yogurt and other Fermented Dairy Products. **In :** Developement and Manufacture of Yogurt and other Functional Dairy Products. CRS Press : Tylor and Francis Group. New York. 1-46.

Z

Zbadi, R., Mohti, H., & Moussaoui, F. (2018). Stress oxydatif: évaluation du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales. *Médecine thérapeutique*, 24(2), 134-141.

Zimmer, N., & Cordesse, R. (1996). Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. *Productions animales*, 9(3), 167-179.

Zourari, A., & Desmazeaud, M. J. (1991). Caractérisation de bactéries lactiques thermophiles isolées de yaourts artisanaux grecs. II. Souches de *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* et cultures mixtes avec *Streptococcus salivarius subsp thermophilus. Le lait*, 71(4), 463-482.

ANNEXES

Annexes 1

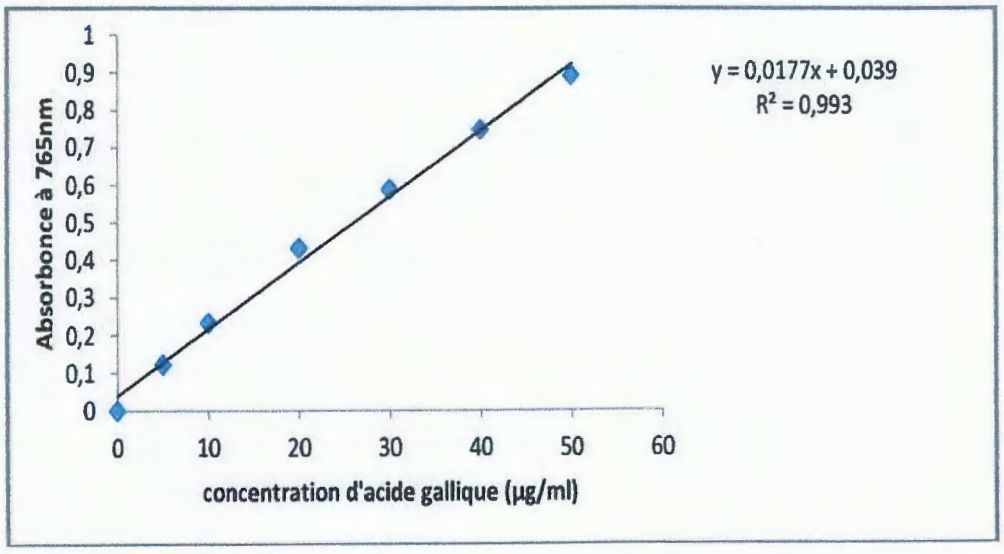


Figure 18 : Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols

Évaluation de la qualité nutritionnelle, physico-chimique et antioxydante d'un yaourt enrichi d'extraits de plantes	
Présenté par: TERKI Amel TAMOUM Hana	Promotrice: Dr. BOUSSOUF. L

Résumé

Dans le présent travail, un yaourt témoin et deux types de yaourts enrichis par les extraits aqueux des plantes médicinales *Mentha rotundifolia* et *Achillea odorata* ont été préparés. L'effet de l'ajout de ces deux extraits sur les critères de la qualité physico-chimique et nutritionnelle, la teneur en composés phénoliques, l'activité antioxydante, la capacité inhibitrice de l'alpha amylase, ainsi que l'activité antibactérienne a été étudié pendant 21 jours de stockage réfrigéré à 4°C. Les résultats ont montré que l'addition des extraits des plantes n'a pas affecté les valeurs du pH qui variaient entre 4.43±0.1 et 4.61±0.1 dans les trois yaourts. Contrairement à l'acidité titrable, qui a montré des valeurs plus élevées comparés par le yaourt témoin. Concernant la qualité nutritionnelle, la teneur en protéines n'a pas été affectée par l'ajout des extraits. Les résultats ont aussi montré que les yaourts enrichis ont présenté des teneurs en polyphénols significativement ($p<0.05$) plus élevées avec des teneurs maximales au 14ème jour de stockage. De plus, la présence des extraits aqueux a augmenté significativement ($p<0.05$) l'activité de piégeage du radical libre DPPH·. Le pouvoir réducteur du fer et la capacité d'inhibition de l'alpha amylase ont été significativement améliorés dans les yaourts enrichis. Concernant l'activité antibactérienne, les yaourts à base d'extraits de plantes ont montré une activité plus importante.

Mots clé : *Mentha rotundifolia*, *Achilléa odorata*, yaourt, composés phénoliques, qualité nutritionnelle, activité anti-oxydante.

Abstract

In the present work, a control yogurt and two types of yogurt enriched with the aqueous extracts of the medicinal plants *Mentha rotundifolia* and *Achillea odorata* were prepared. The effect of the addition of these two extracts on the properties of physicochemical and nutritional quality, phenolic compounds content, antioxidant activity, alpha amylase inhibitory capacity, as well as antibacterial activity was studied during 21 days of refrigerated storage at 4°C. The results showed that the addition of the plant extracts did not affect the pH values which varied between 4.43±0.1 and 4.61±0.1 in the three yogurts. Unlike the titratable acidity, which showed higher values compared by the control yogurt. Regarding the nutritional quality, the protein content was not affected by the addition of the extracts. The results also showed that the enriched yoghurts presented significantly ($p<0.05$) higher polyphenol contents with maximum contents at the 14th day of storage. In addition, the presence of the aqueous extracts significantly ($p<0.05$) increased the DPPH· free radical scavenging activity. The iron reducing power and the alpha amylase inhibition capacity were significantly improved in the enriched yoghurts. Regarding antibacterial activity, yoghurts with plant extracts showed a higher activity.

Keywords: *Mentha rotundifolia*, *Achillea odorata*, yogurt, phenolic compounds, nutritional quality, antioxidant activity.

ملخص

يهدف العمل المقدم في هذه الرسالة الى تحضير زبادي شاهد و نوعين من الزبادي غنيين بالمستخلصات المائية لنبتتي *Mentha rotundifolia* و *Achillea odorata* و دراسة تأثير هذه الإضافة على الجودة الفيزيوكيميائية، الغذائية و محتوى البوليفينول على النشاط المضاد للأكسدة و القدرة على تثبيط أنزيم ألفا أميلاز و كذلك النشاط المضاد للبكتيريا لعينات الزبادي المخزنة 4°م لمدة 21 يوما. أظهرت النتائج أن إضافة المستخلصات النباتية لم يؤثر على قيم ال pH التي تراوحت ما بين 4,43±0,1 و4,61±0,1 بالنسبة للأنواع الثلاثة للزبادي، على عكس الحموضة القابلة للمعايرة التي أظهرت قيما أعلى بالنسبة للزبادي الغنية بالمستخلصات مقارنة بالزبادي الشاهد. فيما يخص الجودة الغذائية، فإن مستوى البروتين لم يتأثر بإضافة المستخلصين. النتائج أظهرت أيضا ارتفاع محتوى البوليفينول عند الزبادي الغنية بالمستخلصين مقارنة بالزبادي الشاهد ليبلغ أعلى قيمة في اليوم 14 من التخزين المبرد .بالإضافة إلى ذلك، أظهر تقييم النشاط المضاد للأكسدة للزبادي من خلال اختبار مسح الجذور الحرة DPPH· و إرجاع الحديد و كذلك اختبار القدرة على تثبيط أنزيم الألفا أميلاز أن إضافة مستخلصي النبتتين ساهم في رفع قيمها.أما بالنسبة للنشاط المضاد للبكتيريا فقد أوضحت النتائج أن الزبادي الغنية بالمستخلصين أظهرا نشاطا أعلى مقارنة بالزبادي الشاهد طيلة مدة التخزين.

الكلمات المفتاح: *Mentha rotundifolia*، *Achillea odorata*، الزبادي، مركبات فينولية، الجودة الغذائية، نشاط مضادات الاكسدة.