



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Nutrition et Sciences des Aliments



THÈSE

PRÉSENTÉE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME
DE DOCTORAT 3ème cycle LMD

Présentée Par :

M^{me}. GUEMIDI Chafika

THÈME

**Impact des extraits phénoliques de la menthe poivrée
(*Mentha piperita*) sur les germes spécifiques du yaourt:
Essai de fabrication d'un lait fermenté alicament.**

Soutenue publiquement le : 09/10/2025.

Devant le jury :

M. BENABDELMOUMENE Djilali	Professeur	Président	Université de Mostaganem
M. AIT SAADA Djamel	Professeur	Promoteur	Université de Mostaganem
Mme.AIT CHABANE Ouiza	MCA	Co-Promoteur	Université de Mostaganem
Mme. DERAMCHIA Nawal	MCA	Examinatrice	Université de Mostaganem
M. KATI Djamel Eddine	Professeur	Examineur	Université de Bejaia
M. BEKADA Ahmed Mohamed Ali	Professeur	Examineur	Université de Tissemsilt

Thèse réalisée au Laboratoire de Technologie alimentaire et Nutrition.
Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem.
Année universitaire : 2024/2025



Remerciements

Ma profonde gratitude, reconnaissance et respect vont principalement à mon directeur et co-directrice de thèse le Professeur **AIT SAADA Djamel** (Directeur du laboratoire de Technologie Alimentaire et de Nutrition) et Docteur **AIT CHABANE Ouiza**, de m'avoir accompagnée dans la réalisation de ce travail et de m'avoir fait bénéficier de leur disponibilité, leur bienveillance et leur rigueur scientifique.

Mes remerciements s'adressent également au Professeur **ABDELMOUMENE Djilali** qui m'a fait l'honneur de présider le jury, au Professeur **BEKADA Ahmed Mohamed Ali**, Professeur **Kati Djamel Eddine** et Docteur **DERAMCHIA Nawel** pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements les plus chaleureux vont également au Professeur **BOUDEROUA Kaddour** et Professeur **BOUZOUINA Mohamed** pour leur assistance professionnelle et leurs précieuses orientations, qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je tiens également à remercier vivement Professeur **Ramazan ERENLER**, Professeur **Mahfuz ELMASTAZ** ainsi que Docteur **Mustafa Abdullah YILMAZ** pour leur collaboration fructueuse dans la réalisation de cette recherche.

Je tiens aussi à exprimer ma gratitude aux Ingénieurs du laboratoire de recherche à l'INESS : Nabil, Djahira, Amina ainsi que Fatiha et Fatiha Ingénieurs des laboratoires de l'École Supérieure de l'Agronomie (ESA) qui m'ont apporté de l'aide avec beaucoup de générosité.

Je tiens à remercier tous mes collègues pour les bons moments passés ensemble.

Enfin, un grand merci à ceux qui me sont chers et qui m'ont toujours soutenu, mes parents, mes enfants et toute ma famille.

Valorisation scientifique

Le travail mené dans cette thèse a fait l'objet de publication et communications nationales et internationales suivantes :

1. Publication internationale

Chafika Guemidi*, **Djamal Ait Saada** , **Ouiza Ait Chabane** , **Mahfuz Elmastas** , **Ramazan Erenler** , **Mustafa Abdullah Yilmaz** , **Abbas Tarhan**, **Salah Akkal** , **Haroune Khelifi**. Enhancement of yogurt functionality by adding *Mentha piperita* phenolic extract and evaluation of its quality during cold storage. *Food Science & Nutrition*, Volume12, Issue 4, (2024), Pages 3007-3020. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3981>.

2. Communications internationales

GUEMIDI Chafika; **AIT SAADA Djamal** ; **AIT CHABANE Ouiza** ; **HADJAR Mouafak Hani**. Effet de l'extrait hydro-méthanolique de *Mentha piperita*.L sur la croissance des germes starters du yaourt et impact sur la qualité d'un lait fermenté, the third International Seminar on Biology (Bioresources and food Safety). 6-19 Novembre 2019. Université Tahri mohamed , Bechar, Algérie (Communication affichée).

GUEMIDI Chafika ; **AIT SAADA Djamal**; **HADJAR Mouafak Hani Mohamed Amine** ; **AIT CHABANE Ouiza**. Essai de fabrication d'un lait fermenté alicament à base d'extrait bioactif hydro-méthanolique de *Mentha piperita* L. : impact sur la croissance des germes spécifiques du yaourt. The fierst international symposium 'Environment and Sustainable Development'. 10 et 11 Février 2020. Université d'Ahmed Zabana, à Relizane, Algerie (communication orale).

GUEMIDI Chafika ; **AIT SAADA Djamal** ; **AIT CHABANE Ouiza** ; **HADJAR Mouafak Hani Mohamed Amine**. Effet de l'extrait hydro-méthanolique de *Mentha piperita* L. sur la croissance des germes starters du yaourt et impact sur la qualité d'un lait fermenté. The first International Conference on Biodiversity in the Servidc of Biotechnologie (ICBIO2019). 9 et 10 Mars 2020. Centre universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila, Algérie (communication orale).

GUEMIDI Chafika ; **AIT SAADA Djamal** ; **AIT CHABANE Ouiza** ; **HADJAR Mouafak Hani Mohamed Amine**. Évaluation de l'effet des composés bioactifs de *Mentha piperita* L. sur la qualité d'un yaourt étuvé et la viabilité de ses bactéries bénéfiques. The "1 St International Webinar On Biological And Chemical Engineering" ENGINEERING. 10 et 11 Novembre, 2021. Université Saad Dehleb; Blida (communication orale).

GUEMIDI Chafika ; **AIT CHABANE Ouiza**; **AIT SAADA Djamal**. Examination of the inhibitory effect of *mentha piperita* L. on growth of specific germs and the quality of a firm yogurt. The fiest international Eday on Microbial Biotechnology. 18 Novembre 2021. Université Ben youcef Ben khedda, . Boumerdess, Algérie (communication orale).

3. Communications nationales

GUEMIDI Chafika ; **AIT SAADA Djamal**; **AIT CHABANE Ouiza** ; **HADJAR Mouafak Hani Mohamed Amine**. Effet de l'extrait hydro-éthanolique de *Mentha piperita*.L sur les germes starters d'un yaourt et impact sur la qualité d'un lait fermenté. The first national seminar of nutrition and health (NSNH1).4 et 5 Décembre 2019. Centre universitaire Hassiba Benbouali Chlef (communication affichée).

GUEMIDI Chafika ; AIT SAADA Djamel ; AIT CHABANE Ouiza. Evaluation de l'impact de l'ajout d'un extrait de *Mentha piperita*.L sur les paramètres physicochimiques et sensoriels d'un yaourt étuvé. Conférence national virtuelle sur les productions animales recherche, développement et perspectives des filières animales. 1-3 Juin 2021. Université Abdelhamid Ibn Badis. Mostaganem (communication affichée).

GUEMIDI Chafika ; AIT CHABANE Ouiza ; AIT SAADA Djamel. Élaboration d'un lait fermenté enrichi en extrait hydro alcoolique de *Mentha piperita* L. Premier séminaire national sur les substances naturelles, Biotechnologie et innovation (SNBI 2021). 26 et 27 Octobre 2021. Centre universitaire Abdelhafid Bousouf, Mila, Algérie (communication orale).

GUEMIDI Chafika ; AIT CHABANE Ouiza ; AIT SAADA Djamel. Effet de l'ajout d'un extrait de *Mentha piperita*.L sur la qualité des yaourts étuvés au cours des périodes de fermentation et la post acidification. 10^{ième} Journées Nationales des Sciences Naturelles et la vie. 16- 18 Novembre 2021. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie (communication orale).

Liste des abréviations

°D	: Degré Dornic.
ABTS	: acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique).
ACE-I	: enzyme de conversion de l'angiotensine.
AGCCS	: Acides gras à chaîne courte et moyenne.
AGCL	: Acides gras à chaîne longues
AGI	: Acides gras insaturés.
AGMI :	: Acide gras mono insaturé.
AGPI	: acides gras polyinsaturés.
AGPI	: Acide gras poly insaturé.
AGS	: Acides gras saturés.
ATCC	: American Type Culture Collection.
BHT	: Butylhydroxytoluène.
CMB	: Concentration minimale bactéricide.
CMI	: Concentration minimale inhibitrice.
Da	: Dinar Algérien.
DHA	: Acide cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-docosahexaenoïque.
DPPH	: 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl.
EAG	: Équivalent en acide gallique.
EAMP	: Extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L.
EC	: Équivalent en Catéchine.
ECA	: Enzyme de conversion de l'angiotensine.
EHEMP	: extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L.
EHMMP	: extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L.
EL	: Extrait lyophilisé.
EPA	: Acide cis-5, 8, 11, 14, 17-eicosapentaenoïque.
EPS	: Exopolysaccharide.
EQ	: Équivalent en quercétine
FAO	Food and Agriculture Organization.
FDA	: Food and Drug Administration.
FIL	: Fédération internationale du lait.
FRAP	: Ferric Reducing Antioxidant Power.
GC	: pourcentage de Guanine Cytosine, ou coefficient de Chargaff).
GC/MS	: Gas Chromatography-Mass Spectrometry.
GC-FID	: Gas chromatography-flame ionization detection.
GRAS	: Generally Recognized As Safe.
H1N1	: infections du système respiratoire tel que le virus de la grippe A.
HRSA	: Hydroxyl Radical Scavenging Activity.
IC50	: Concentration inhibitrice semi-maximale.
Kcal	: Kilocalorie.
<i>L. bulgaricus</i>	: <i>Lactobacillus bulgaricus</i> .
LC/MS	: Liquid chromatography–mass spectrometry (Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse par un seul détecteur de masse).
LC/MS-MS	: Liquid chromatography–mass spectrometry (Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse par deux détecteurs de masse).
M17	: Gélose M17
MG	: Matière grasse.
MGT	: Matière Grasse Totale.
mM	: Millimolaire.
MPa	: Mégapascal..

MRS	: Gélose de Man, Rogosa, Sharpe.
MS	: Matière sèche.
N	: Nombre de colonies.
ORAC	: oxygen radical absorbance capacity.
p/p	: Poids à poids.
p/v	: Poids à volume.
<i>PMP</i>	: poudre de menthe poivrée.
ppm	: partie par million.
<i>S.thermophilus</i>	: <i>Streptococcus thermophilus</i> .
SRSC	: Superoxide radical scavenging capacity.
TEAC	: Trolox equivalent anti-oxidant capacity.
TEBARS	: Thiobarbituric Acid Reactive Substances.
UFC	: Unité formant colonie.
UI	: Unité Internationale.
v/p	: Volume à poids.
v/v	: Volume à volume.
ω -3	: Oméga 3.
ω -6	: Oméga 6.
LT	: Lipides totaux.

Liste des tableaux

Tableau 1. Appellations du yaourt et des produits similaires dans différentes régions du monde	06
Tableau 2. Exemples de spécifications requises du lait destiné à la fabrication du yaourt ...	11
Tableau 3. Contenu du yaourt nature en principaux nutriments	24
Tableau 4. Impact d'ajout d'extraits de quelques plantes médicinales sur le renforcement de la qualité des yaourts	31
Tableau 5. Composés volatils majeurs de <i>Mentha piperita</i> L. récoltée dans différentes régions du monde	39
Tableau 6. Aperçu bibliographique sur le contenu phénolique de <i>Mentha piperita</i> L. récoltée dans différentes régions du monde	40
Tableau 7. Composition lipidique de <i>Mentha piperita</i> L.	42
Tableau 8 : Pouvoir antioxydant associé aux extraits et huiles de <i>Mentha piperita</i> L	43
Tableau 9. Formes d'incorporations de <i>Mentha piperita</i> L. dans le lait et dérivés	52
Tableau 10. Principales substances phytochimiques recensées dans l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L	87
Tableau 11. Dosage des composés phénoliques de l'extrait hydroéthanolique de Menthe poivrée	88
Tableau 12. Profile en composés bioactifs de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. identifié par analyse LC-MS/MS	89
Tableau 13. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L., en comparaison à l'ascorbate et à la quercétine	91
Tableau 14. Effets des différentes concentrations d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt	92
Tableau 15. Effets des concentrations d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur les variations des zones et des taux d'inhibition des germes spécifiques du yaourt	94
Tableau 16. Evaluation des CMI de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. vis-à-vis des bactéries starters du yaourt	95
Tableau 17. Types d'inhibition de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt	96
Tableau 18. Evolution du nombre de <i>Streptococcus thermophilus</i> et de <i>Lactobacillus bulgaricus</i> ($N 10^5$ UFC/ml) dans les yaourts étuvés additionnés d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et de post-acidification	98
Tableau 19. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. à différentes concentrations sur les variations du pH, d'acidité (°D) et de la viscosité (m^2/s) d'un yaourt étuvé	100
Tableau 20. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur la qualité sensorielle d'un yaourt étuvé	102
Tableau 21. Evolution du potentiel antioxydant (% d'inhibition des radicaux DPPH et d'ABTS) et du taux de peroxydation des lipides TBARS (mg MDA/kg) des yaourts étuvés enrichis en extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. au cours du stockage à 6°C	104
Tableau 22. Profil en acides gras des yaourts expérimentaux (en % des lipides totaux)	106
Tableau 23. Principales substances phytochimiques recensées dans l'extrait	

hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L.....	124
Tableau 24. Dosage des composés phénoliques de l'extrait hydrométhanolique de Menthe poivrée	125
Tableau 25. Profile en composés bioactifs de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. par analyse LC-MS/MS	126
Tableau 26. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L., en comparaison à l'ascorbate et à la quercétine	128
Tableau 27. Effets des différentes concentrations d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur la croissance des bactéries spécifiques au yaourt.....	129
Tableau 28. Effet des concentrations d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur les variations des zones et des taux d'inhibition des germes spécifiques du yaourt	130
Tableau 29. Evaluation des CMI de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt	131
Tableau 30. Types d'inhibition de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt	132
Tableau 31. Evolution du nombre (N 10 ⁵ UFC/ml) de <i>Streptococcus thermophilus</i> et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> dans les yaourts étuvés additionnés d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L., au cours des périodes de fermentation et de post-acidification.....	133
Tableau 32. Effet de l'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. à différentes concentrations sur les variations de pH, d'acidité (°D) et de la viscosité (m ² /s) du yaourt étuvé	135
Tableau 33. Effet de l'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. à différentes doses sur la qualité sensorielles d'un yaourt étuvé.....	138
Tableau 34. Evolution du potentiel antioxydant (% d'inhibition des radicaux DPPH & ABTS) et du taux de peroxydation des lipides TBARS (mg MDA/kg) des yaourts.....	140
Tableau 35. Profil en acides gras des yaourts expérimentaux (en % des lipides totaux)	143
Tableau 36 : Principales substances phytochimiques recensées dans l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L.	162
Tableau 37. Principaux composés phénoliques de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L.	163
Tableau 38. Profile en principaux composés bioactifs de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. identifiés par LC-MS/MS.	164
Tableau 39. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L., en comparaison à l'ascorbate et à la quercétine.....	166
Tableau 40. Effets de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt.....	167
Tableau 41. Effet de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. sur les variations des zones et des taux d'inhibition des germes spécifiques du yaourt	168
Tableau 42. Evaluation des CMI de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> .L vis-à-vis des bactéries starters du yaourt.....	169
Tableau 43. Type d'inhibition de l'extrait aqueux de <i>Mentha Piperita</i> L. contre les germes spécifiques du yaourt.....	170
Tableau 44. Evolution du nombre (N 10 ⁵ UFC/ml) des <i>Steptococcus thermophilus</i> et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> dans les yaourts étuvés additionnés d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et de post-acidification.....	171

Tableau 45. Effet de l'incorporation d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. à différentes concentrations sur les variations du pH, d'acidité (°D) et de la viscosité (m ² /s) d'un yaourt étuvé.....	173
Tableau 46. Effet de l'incorporation d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. sur la qualité sensorielle d'un yaourt étuvé	176
Tableau 47. Evolution du potentiel antioxydant (% d'inhibition des radicaux DPPH & d'ABTS) et du taux de peroxydation des lipides TBARS (mg MDA/kg) des yaourts	178
Tableau 48. Profil en acides gras des yaourts expérimentaux (en % des lipides totaux).....	180

Liste des figures

Figure 1. Diagramme général du procédé de fabrication des yaourts fermes et des yaourts brassés	10
Figure 2. Morphologie du germe <i>Streptococcus thermophilus</i> au microscopie électronique à balayage	14
Figure 3. Vue du germe <i>Lactobacillus bulgaricus</i> au microscope électronique	14
Figure 4: Formation du gel lactique au cours de la fermentation du yaourt	19
Figure 5. Classes chimiques des composés volatiles produits par les bactéries spécifiques du yaourt	21
Figure 6. Nombre d'études de recherche consacrées aux espèces de <i>Mentha</i> et publiées au cours des vingt dernières années	36
Figure 7. Feuilles et tiges de <i>Mentha piperita</i> .L	37
Figure 8. Métabolisation des composés phénoliques et effets sur le microbiote intestinale et la santé du consommateur	66
Figure 9. Procédé d'extraction des composés phénolique de <i>Mentha piperita</i> L. par usage de 3 solvants	74
Figure 10. Préparation des échantillons de yaourt	84
Figure 11. Proportion en composés phytochimiques détectés par analyse LC-MS/MS dans le contenu lyophilisé d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L	90
Figure 12. Taux (%) des composés actifs détectés dans l'extrait hydroéthanolique sec de <i>Mentha piperita</i> L. par analyse LC-MS/MS	90
Figure 13. Histogrammes des IC50 de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L., de l'acide ascorbique et de la quercétine obtenus par les tests DPPH et ABTS	91
Figure 14. Effets des concentrations de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur la croissance (en UFC/ml) et le taux de croissance (%) des germes spécifiques du yaourt	93
Figure 15. Zones d'inhibition entraînées par les différentes concentrations d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. et de la Gentamycine chez les deux germes spécifiques du yaourt	94
Figure 16. Evaluation des CMB de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt	96
Figure 17. Evolution du nombre (N.10 ⁵ UFC/ml) des <i>Streptococcus thermophilus</i> (<i>St</i>) et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> (<i>Lb</i>) dans les yaourts enrichis d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification	98
Figure 18. Evolution des paramètres physicochimiques des yaourts enrichis en extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification	101
Figure 19. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur la qualité organoleptique d'un yaourt étuvé au cours de 21 jours de stockage au froid positif	103
Figure 20. Evolution de l'activité de piégeage (% d'inhibition) des radicaux DPPH et ABTS des yaourts enrichis d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L au. cours la réfrigération	105
Figure 21. Evaluation par le test de TBARS du degré de peroxydation (mg MDA/kg) des lipides des yaourts enrichis en extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L., au cours de 20 jours de réfrigération.....	105

Figure 24. Proportion en composés phytochimiques détectés par analyse LC-MS/MS dans le contenu lyophilisé d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L	127
Figure 25. Taux (%) en composés actifs détectés dans l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. par analyse LC-MS/MS.....	127
Figure 26. Histogrammes des IC50 de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L., de l'acide ascorbique et de la quercétine obtenus par les tests DPPH et ABTS.....	128
Figure 27. Effets de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur la croissance (en UFC/ml) et sur le taux de croissance (en%) des germes spécifiques au yaourt.....	129
Figure 28. Zones d'inhibition entraînées par les différentes concentrations d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. et de la Gentamycine chez les deux germes spécifiques du yaourt	130
Figure 29. Evaluation des CMB de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.....	132
Figure 30. Evolution du nombre (N.10 ⁵ UFC) des bactéries spécifiques du yaourt dans les yaourts enrichis en extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et post acidification. (a) : <i>Streptococcus thermophilus</i> (St), (b) : <i>Lactobacillus bulgaricus</i> (Lb).....	134
Figure 31. Evolution des paramètres physicochimiques des yaourts enrichis en extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.....	136
Figure 32. Effet d'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. sur la qualité organoleptique d'un yaourt étuvé au cours de 21 jours de stockage au froid positif de 6°C	139
Figure 33. Evaluation du potentiel antioxydant dans les yaourts enrichis d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L., au cours de 20 jours de réfrigération.....	141
Figure 34. Evaluation par le test de TBARS du degré de peroxydation (mgMDA/kg) des lipides des yaourts enrichis en extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L., au cours de 20 jours de réfrigération.....	141
Figure 35. Proportions en composés phytochimiques détectés par LC-MS/MS dans l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L	165
Figure 36. Taux (%) en composés bioactifs de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. détectés par LC-MS/MS.....	165
Figure 37. Histogrammes des IC50 de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L., de l'acide ascorbique et de la quercétine obtenus par les tests aux DPPH et à l'ABTS.....	166
Figure 38. Effets de l'extrait aqueux de <i>Mentha Piperita</i> L. sur la croissance (en UFC/ml) et sur le taux de croissance (en%) des germes spécifiques du yaourt.....	167
Figure 39. Zones d'inhibition entraînées par les différentes concentrations d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. et de la Gentamycine chez les germes spécifiques du yaourt.....	168
Figure 40. Evaluation des CMB de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.....	213
Figure 41. Evolution du nombre (N.10 ⁵ UFC/ml) des <i>Streptococcus thermophilus</i> (St) et <i>Lactobacillus bulgaricus</i> (Lb) dans les yaourts enrichis d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.....	172
Figure 42. Evolution des paramètres physicochimiques des yaourts enrichis en extrait aqueux	

de <i>Mentha piperita</i> L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.....	174
Figure 43. Effet de l'incorporation d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. sur la qualité organoleptique d'un yaourt étuvé au cours de 21 jours de stockage au froid positif	177
Figure 44. Evaluation du potentiel antioxydant dans les yaourts enrichis d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L., au cours de 20 jours de réfrigération.....	179
Figure 45. Evaluation de la peroxydation des lipides TBARS (mg MDA/kg) des yaourts enrichis d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L à différentes doses au cours de 20 jours de réfrigération.....	179

Résumé

La présente étude vise à évaluer l'impact des composés phénoliques de *Mentha piperita* L., sur la qualité microbiologique, physicochimique, organoleptique ainsi que le potentiel antioxydant et le profil lipidique d'un yaourt type étuvé au cours de quatre heures de fermentation et pendant 21 jours d'entreposage au froid positif de 6°C. Les extraits riches en composés bioactifs ont été obtenus par macération à température ambiante pendant 6 heures d'une prise de la partie aérienne de la plante par usage de trois solvants à polarités croissantes (éthanol, méthanol et eau) dilués à 80% avec de l'eau distillée stérile, suivi d'une évaporation sous vide au rotavapeur. Les extraits ont été par la suite additionnés pendant la préparation du yaourt à des doses de 0, 2, 4 et 6%, respectivement. Une analyse phytochimique, une évaluation des teneurs en composés phénoliques et flavonoïdes ainsi que le profil en principaux composés phénoliques (analysé par LC-MS/MS) ont été tout d'abord effectuées sur les différents extraits de la plante avant de suivre ensuite leurs activités antioxydantes et leurs effets antimicrobien vis-à-vis de la croissance des *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* par la détermination des Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI) et des Concentrations Minimales Bactéricides (CMB). Les analyses effectuées périodiquement en triple essais sur les laits fermentés fermes additionnés d'extraits de menthe poivrée ont porté sur l'évaluation de la qualité physicochimique (pH, acidité, viscosité potentiel antioxydant et profil lipidique par GC-FID) et de la qualité microbiologique (dénombrement des germes spécifique du yaourt) ainsi que la qualité organoleptique (acidité, cohesivité, adhésivité, odeur...etc.) par un jury de dégustation formé de 10 panélistes. Les résultats ont subi une analyse de la variance en randomisation complétée par une comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls et une analyse non paramétrique de Fridman.

Une prédominance de l'acide rosmarinique a été enregistrée dans les trois extraits (hydroéthanoliques, hydrométhanoliques et aqueux) ayant montré un effet de type bactéricide vis-à-vis des *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* à de fortes doses de plus de 40% ainsi qu'un pouvoir antioxydant considérable avec des IC₅₀ de 3.16, 3.25 et 5.37 mg/ml obtenus par le test DPPH et 2.50, 2.54 et 4.36 mg/ml réalisés au test d'ABTS, respectivement. L'incorporation, à une faible dose de 2%, des extraits expérimentaux a maintenu stables les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques du yaourt durant toute la période de réfrigération. Il a aussi considérablement ($p < 0.01$) amélioré le potentiel antioxydant des produits particulièrement au 20^{ème} jour de stockage ou des pouvoirs d'inhibition des radicaux DPPH et d'ABTS variables de 12.41 à 41.13% et de 4.97 à 17.69%, ont été enregistrés, respectivement par rapport au témoin. Par ailleurs, comparativement au témoin, le contenu en oméga-3 dont notamment l'acide α -linoléique a été nettement augmenté au 20^{ème} jour de stockage d'environ 14.96 à 42.19% dans les laits fermentés enrichis à 4% d'extraits hydroéthanoliques et hydrométhanoliques, contrairement au yaourt additionné d'extrait aqueux qui a accusé un médiocre résultat. Au plan de la qualité sensorielle, les yaourts à 4% d'extrait hydroalcoolique sont été très bien classés par les panélistes pour leur odeur agréable tandis que ceux à 2% d'extrait aqueux ont été mieux appréciés pour leur couleur, fraîcheur et arrière-goût par comparaison au yaourt standard sans extrait de menthe poivrée.

Mots clés : *Mentha piperita* L., extraits, composés phénoliques, yaourt, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, qualité, conservation.

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the impact of phenolic compounds from *Mentha piperita* L. on microbiological, physicochemical and organoleptic properties, antioxidant potential and lipid profile of steamed yoghurt during four hours of fermentation and 21 days of storage in a 6°C refrigerator. Bioactive extracts were obtained by maceration at room temperature for 6 hours of the aerial part of the herb, using three increasingly polar solvents (ethanol, methanol and water) 80% diluted with sterile distilled water, then vacuum evaporated using a rotary evaporator. Extracts were then added to yogurt in doses of 0, 2, 4 and 6%. A phytochemical screening, evaluation of phenolic and flavonoid contents and profiling of the major phenolic compounds (analyzed by LC-MS/MS) were first carried out on the extracts, then their antioxidant activities and their antimicrobial effects on the growth of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* were assessed by determination of Minimum Inhibitory Concentrations (MIC) and Minimum Bactericidal Concentrations (MBC). Periodic triplicate testing was carried out on the fermented milks supplemented with peppermint extracts, evaluating physicochemical quality (pH, acidity, viscosity, antioxidant potential and lipid profile by GC-FID), microbiological quality (yogurt-specific bacteria count) and organoleptic quality (acidity, cohesiveness, stickiness, odour, etc.) by a tasting panel of 10 panellists. The results were subjected to a randomized analysis of variance, supplemented by a pairwise comparison of means using the Newman-Keuls test and a non-parametric Friedman analysis.

A predominance of rosmarinic acid was recorded in the three extracts (hydroethanolic, hydromethanolic and aqueous), showing a bactericide effect against *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* at high doses exceeding 40%, and a considerable antioxidant power with IC₅₀s of 03.16, 3.25 and 5.37 mg/ml in the DPPH test and 2.50, 2.54 and 4.36 mg/ml in the ABTS test, respectively. Incorporation of the experimental extracts at a low dose of 2% kept the physicochemical and microbiological characteristics of the yoghurt stable throughout the refrigeration period. It also considerably ($p < 0.01$) improved the antioxidant potential of the products, particularly on the 20th day of storage, when variable DPPH and ABTS radical inhibition powers of 12.41 to 41.13% and 4.97 to 17.69%, respectively, compared with control, were recorded.

Compared with the control, the omega-3 content, notably α -linolenic acid, increased significantly on the 20th day of storage, from around 14.96% to 42.19% in fermented milks enriched with 4% hydroalcoholic and hydromethanolic extracts, while yogurts enriched with aqueous extract showed a poor result. In terms of sensory properties, yogurts with 4% hydroalcoholic extract were highly appreciated by panellists for their pleasant smell, while those with 2% aqueous extract were better appreciated for their color, freshness and aftertaste, compared with standard yogurt without peppermint extract.

Key words: *Mentha piperita* L., extracts, phenolic compounds, yogurt, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, quality, preservation.

ملخص

استهدفت الدراسة تقييم تأثير المركبات الفينولية المستخلصة من نبات *Mentha piperita* L. على المزايا الميكروبيولوجية ، الفيزيوكيميائية والجودة الحسية فضلاً عن خصائص مقاومة الأكسدة ومحتوى المواد الدهنية في أحد أنواع الألبان المخمرة من نوع الزبادي (الياغورت) ، وذلك خلال فترتي التخمر لمدة أربع ساعات والتخزين لمدة 21 يوماً بدرجة تبريد 6 درجات مئوية. وقد تم الحصول على مستخلصات غنية بالمركبات الحيوية الفعالة عن طريق نفع الجزء الهوائي من النبات لمدة 6 ساعات بدرجة حرارة الغرفة باستخدام ثلاثة محاليل ذات قطبية متزايدة (الإيثانول والميثانول والماء) بعد تخفيفها إلى 80% باستخدام الماء المقطر المعقم، متبوعاً بالتبخير باستخدام جهاز التبخير الفراغي. أُضيفت المستخلصات بعد ذلك إلى الزبادي أثناء عملية تحضير هذا الأخير بجرعات 0 ، 2 ، 4 ، و 6 %.

بدايةً ، تم إخضاع المستخلصات النباتية الثلاث للتحليل الكيميائي النباتي وتقييم المحتوى الفينولي والفلافونويد وملامح المركبات الفينولية الرئيسية (بواسطة LC-MS/MS) وكذا رصد أنشطتها المضادة للأكسدة وتأثيراتها المضادة للبكتيريا العقدية الحرارية (*Streptococcus thermophilus*) و العصيات اللبنية البلغارية (*Lactobacillus bulgaricus*) الخاصة بمادة الزبادي ، من خلال تحديد الحد الأدنى للتركيزات المثبطة (MIC) والحد الأدنى للتركيزات المبيدة للجراثيم (MBC).

تضمنت التحاليل التي أجريت في ثلاث نسخ وبشكل دوري على الألبان المخمرة التي تحتوي على مستخلصات النعناع على تقييم الجودة الفيزيوكيميائية (الرقم الهيدروجيني (pH) والحموضة واللزوجة) ، القدرة المضادة للأكسدة ، محتوى الدهون بواسطة GC-FID والجودة الميكروبيولوجية (عد الجراثيم الخاصة بالزبادي) ، وكذلك الجودة الحسية (الحموضة، التماسك، الالتصاق، الرائحة، وما إلى ذلك) التي اعتمدها لجنة التذوق المؤلفة من 10 أعضاء. وقد خضعت النتائج لتحليل التباين ، مع استكمالها بمقارنة زوجية للمتوسطات باستخدام اختبار نيومان-كيلوز وتحليل فريدمان غير البارامترى.

أظهرت النتائج طغيان حمض الروزمارينيك في المستخلصات الثلاثة (المائي والمائي والمائي والمائي) والذي أظهر تأثيراً مبيداً للبكتيريا تجاه المكورات العقدية الثرموفيلية ولاكتوباسيلوس بولغاريس بجرعات عالية تزيد عن 40% فضلاً عن قوة هائلة مضادة للأكسدة مع تركيزات IC50 تبلغ 0.03 و 3.25 و 5.37 مل/مغ باستخدام اختبار DPPH و 2.50 و 2.54 و 4.36 مل/مغ باستخدام اختبار ABTS على التوالي. كما أدى إضافة المستخلصات التجريبية بجرعة منخفضة قدرها 2 % إلى الحفاظ على ثبات الخصائص الفيزيائية الكيميائية والميكروبيولوجية للزبادي طوال فترة التبريد. كذلك ساهم بشكل كبير ($p < 0.01$) في تحسين القدرة المضادة للأكسدة للمنتجات، خاصةً في اليوم العشرين من التخزين، حيث تم تسجيل قوى تثبيط جذري DPPH و ABTS المتغيرة بنسبة 12.41 إلى 41.13% و 4.97 إلى 17.69% على التوالي مقارنةً بالعينة الشاهد.

بالإضافة إلى ذلك، ومقارنة مع الشاهد ، ارتفع محتوى الأوميغا 3، وخاصة حمض ألفا لينولينيك، بشكل واضح في اليوم العشرين من التخزين من حوالي 14.96 إلى 42.19 % في الألبان المخمرة المعززة بمستخلصات الهيدروإيثانول والهيدروميثانول بنسبة 4%، على عكس الزبادي المضاف إليه المستخلص المائي، والذي كان أثره ضعيفاً. أما من حيث الجودة الحسية ، فقد حصل الزبادي المزود بمستخلص الهيدروإيثانول بنسبة 4 % على تقييم عالٍ جداً من قبل المتذوقين نظرًا لرائحته الطيبة ، في حين أن الزبادي المعزز بمستخلص مائي بنسبة 2 % حظي بتقدير أفضل من حيث اللون والنضارة والمذاق مقارنةً بالزبادي العادي غير المزود بمستخلص النعناع.

الكلمات المفتاحية : *Mentha piperita* L. ، المستخلصات، المركبات الفينولية ، الزبادي، العقدية الحرارية (*Streptococcus thermophilus*) و العصيات اللبنية البلغارية (*Lactobacillus bulgaricus*) ، الجودة، التخزين.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Valorisation des travaux scientifiques

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé (français, anglais et arabe)

Introduction 01

Partie 1: Etude bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les yaourts

(Aspects microbiologiques, biochimiques, technologiques et nutritionnels)

1. Préambule	04
2. Historique	04
3. Appellation, définition et réglementation	05
4. Données économiques	06
5. Classification des yaourts	07
5.1. En fonction du contenu en matière grasse	07
5.2. En fonction de la nature physique	07
5.3. En fonction de l'arome	07
6. Procédés de fabrication du yaourt	08
6.1. Matières premières et ingrédients	08
6.1.1. Ingrédients laitiers	08
6.1.2. Ingrédients non laitiers	08
6.1.2.1. Ferments lactiques	08
6.1.2.2. Fruits	09
6.1.2.3. Additifs alimentaires	09
6.2. Étapes de fabrication des yaourts	10
6.2.1. Réception et stockage	10
6.2.2. Standardisation	11

6.2.3. Homogénéisation	11
6.2.4. Traitement thermique	12
6.2.5. Fermentation lactique	12
6.2.6. Refroidissement	13
7. Bactéries spécifiques au yaourt.....	13
7.1. Caractéristiques générales des bactéries spécifiques du yaourt	13
7.1.1. <i>Streptococcus thermophilus</i>	13
7.1.2. <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	14
7.2. Propriétés des bactéries spécifiques du yaourt	15
7.2.1. Production d'acide lactique	15
7.2.2. Activité protéolytique	15
7.2.3. Activité aromatique	15
7.2.4. Activité texturante.....	15
7.2.5. Activités probiotiques	16
7.3. Comportement associatif des deux souches	16
7.4. Facteurs influençant le métabolisme des bactéries starters du yaourt	17
7.4.1. Facteurs physiques	17
7.4.2. Facteurs chimiques	17
7.4.3. Facteurs microbiologiques	18
8. Physico-chimie de la gélification du yaourt	18
8.1. Organisation micellaires des caséines du lait	18
8.2. Gélification acide	19
8.3. Effet du chauffage du lait sur la texture du yaourt	19
8.4. Effet des exopolysaccharides (EPS) sur la texture du yaourt	20
9. Composants aromatiques et facteurs influençant la saveur du yaourt	20
9.1. Composants aromatiques	20
9.1.1. Arômes endogènes du yaourt	20
9.1.2. Arômes exogènes du yaourt	21
9.2. Facteurs influençant la saveur du yaourt	21
9.2.1. Effet des facteurs biologiques	22
9.2.2. Effet des procédés technologiques	22
9.2.3. Effet des agents texturants	23
9.2.4. Effet de variation des paramètres de stockage	23
9.2.5. Effet des différentes saveurs ajoutées	24
10. Propriétés nutritives, prophylactiques et thérapeutiques du yaourt	24

10.1. Source de vitamines et minéraux	24
10.2. Source d'acides gras	25
10.3. Source de peptides bioactives	25
10.4. Autres bienfaits à la santé	26
11. Aspects de renforcement des aptitudes alimentaires des yaourts	27
11.1. Enrichissement en minéraux	27
11.2. Enrichissement en vitamines	28
11.3. Enrichissement en oméga-3	28
11.4. Enrichissement en peptides bioactifs	29
11.5. Enrichissement en fibres alimentaires	29
11.6. Enrichissement aux fruits et légumes	30
11.7. Enrichissement aux plantes médicinales et aromatiques	30

Chapitre II : *Mentha piperita* L :
Plante médicinale aromatiques à vertus thérapeutiques extraordinaires

1. Préambule	36
2. Origine et distribution	37
3. Description botanique et taxonomique	37
4. Composition phytochimique.....	38
4.1. Composés volatils ou huiles essentielles	38
4.2. Composés phénoliques	39
4.3. Autres composés	41
5. Activités biologiques et effets pharmacologiques	42
5.1. Activité antioxydante	43
5.2. Activités antibactériennes et antifongiques	44
5.3. Activités antivirales	44
5.4. Activités anti-inflammatoires et antiallergiques	45
5.5. Activité anti-hépatotoxique	45
5.6. Activité antidiabétique	46
5.7. Activité cardiovasculaire	46
5.8. Activité anticancéreuse	46
5.9. Activité neuro-protective	46
6. Toxicologie des composés bioactifs de Menthe	47
7. Aperçu sur les produits laitiers renforcés de <i>Mentha piperita</i> L.	48
7.1. Stratégies d'incorporation de <i>Mentha piperita</i> L. dans le lait et dérivés	48

7.1.1. Incorporation directe	48
7.1.1.1. Usage sous forme de poudre	48
7.1.1.2. Usage sous forme d'extraits aqueux	49
7.1.1.3. Usage d'extraits alcooliques et hydroalcooliques	50
7.1.1.4. Usage des huiles essentielles	51
7.1.2. Incorporation indirect	52
7.2. Effets et mécanismes d'action des extraits de <i>Mentha piperita</i> L. dans la préservation et l'amélioration de la qualité des laits fermentés	57
7.2.1. Potentiel antimicrobien	57
7.2.2. Potentiel antioxydant	60
7.2.3. Préservation des propriétés physicochimiques et sensorielles	61
7.2.4. Amélioration de la valeur nutritionnelle	62
8. Considérations à prendre en charge pour la mise au point d'un additif naturel à base d'extraits de plantes dans les produits laitiers fermentés	62
8.1. Evaluation de la composition des extraits bioactifs	63
8.2 Aspects réglementaires et de sécurité	64
8.3. Absorption, métabolisation et biodisponibilité	65
8.3.1. Absorption intestinale	65
8.3.2. Métabolisation	65
8.3.3. Biodisponibilité et bioaccessibilité	66
8.4. Considérations relatives aux coûts	67
9. Autres applications des extraits et huiles essentielles de <i>Mentha piperita</i> L.	68
9.1. Maîtrise des infections des fruits et d'rivés	68
9.2. Conservation des viandes	68
Conclusion bibliographique	70

Partie 2 : Méthodologie expérimentale.

1. Objectifs.....	71
2. Intérêts de l'étude.....	72
3. Matériel.....	73
3.1. Matière végétale	73
3.2. Souches bactériennes	73
3.3. Milieux de culture et produits chimiques	73
4. Méthodes.....	73
4.1. Extraction des composés phénoliques	73

4.1.1. Préparation des échantillons	73
4.1.2. Extraction.....	73
4.1.3. Calcul du rendement d'extraction.....	74
4.2. Screening phytochimique des extraits de <i>Mentha piperita</i> L.	74
4.2.1. Polyphénols.....	75
4.2.2. Alcaloïdes.....	75
4.2.3. Flavonoïdes.....	75
4.2.4. Tanins	75
4.2.5. Anthocyanes et leucoanthocyanes.....	76
4.2.6. Coumarines.....	76
4.2.7. Stéroïls et triterpènes.....	76
4.2.8. Quinones.....	76
4.2.9. Saponine.....	76
4.2.10. Sucres réducteurs	77
4.3. Dosage de certains composés bioactifs.....	77
4.3.1. Composés phénolique totaux.....	77
4.3.2. Flavonoïdes totaux.....	77
4.3.3. Tanins condensés.....	77
4.4. Détermination du profil en composés phénoliques par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS)	78
4.5. Activité antioxydante des extraits de <i>Mentha piperita</i> L.	79
4.5.1. Piégeage des radicaux DPPH.....	79
4.5.2. Activité de piégeage des radicaux ABTS ⁺	79
4.6. Effets des extraits de <i>Mentha pipérita</i> L. sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt	80
4.6.1. Préparation des souches	80
4.6.2. Préparation des solutions d'extrait	80
4.6.3. Méthode de contact direct.....	80
4.6.4. Méthode des disques par diffusion sur milieu solide	80
4.6.5. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI)	81
4.6.6. Détermination des concentrations minimales bactéricides (CMB)	81
4.7. Elaboration des yaourts aux extraits de <i>Mentha piperita</i> L.	82
4.8. Méthodes d'évaluation de la qualité des yaourts aux extraits de menthe poivrée.....	82
4.8.1. Analyses bactériologiques	82
4.8.2. Critères physicochimiques de base	82

4.8.3. Caractéristiques oxydatives des yaourts expérimentaux	84
4.8.3.1. Activités de piégeage des radicaux DPPH et ABTS	84
4.8.3.2. Dosage des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (sr-TBA)	84
4.8.4. Analyse du profil lipidique par chromatographie phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID)	85
4.8.5. Critères organoleptiques	86
4.9. Traitement statistique des données.....	86

Partie 3 : Résultats& Discussion

Chapitre I : Effets d'ajout d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sur la qualité d'un yaourt étuvé

1. Résultats	87
1.1. Screening phytochimique de l'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L.	87
1.2. Composés bioactifs	87
1.3. Profil en composés phénoliques de l'extrait	88
1.4. Activité antioxydante	91
1.5. Activité antibactérienne	92
1.5.1. Test de croissance	92
1.5.2. Diamètres d'inhibition.....	93
1.5.3. Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI)	95
1.5.4. Concentrations Minimales Bactéricides (CMB)	95
1.5.5. Types d'inhibition	96
1.6. Qualité du yaourt à l'extrait de menthe	96
1.6.1. Viabilité des bactéries starters du yaourt	96
1.6.2. Qualité physicochimique	99
1.6.3. Qualité organoleptique.....	101
1.6.4. Caractéristiques oxydatives des yaourts	103
1.6.5. Profil lipidiques des yaourts expérimentaux	105
2. Discussion	108
2. 1. Etude phytochimique de l'extrait.....	108
2.2. Potentiel antioxydant de l'extrait	111
2.3. Impact antimicrobien de l'extrait de Menthe sur les bactéries starters du yaourt	113
2.4. Qualité des yaourts à l'extrait de <i>Mentha piperita</i> L.....	114
2.4.1. Bactéries spécifiques du yaourt.....	114
2.4.2. Qualité physicochimique.....	115

2.4.3. Qualité organoleptique.....	117
2.4.4. Activité antioxydante du yaourt.....	118
2.4.5. Profil lipidique des yaourts	120
Conclusion partielle	123

***Chapitre II : Effets d'ajout d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.
sur la qualité d'un yaourt étuvé.***

1 .Résultats	124
1.1. Screening phytochimique de l'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L.	124
1. 2. Composés bioactifs.....	124
1.3. Profil en composés phénoliques de l'extrait	125
1.4. Activité antioxydante	127
1.5. Activité antibactérienne	128
1.5.1. Test de croissance	128
1.5.2. Diamètres d'inhibition	129
1.5.3. Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI)	131
1.5.4. Concentrations Minimales Bactéricides (CMB)	131
1.5.5. Types d'inhibition	132
1.6. Qualité du yaourt à l'extrait de menthe	132
1.6.1. Viabilité des bactéries starters du yaourt	132
1.6.2. Qualité physicochimique	134
1.6.3. Qualité organoleptique	136
1.6.4. Caractéristiques oxydatives des yaourts	139
1.6.5. Profil lipidiques des yaourts expérimentaux	141
2. Discussion	144
2.1. Etude phytochimique de l'extrait	144
2.2. Potentiel antioxydant de l'extrait.....	147
2.3. Impact antimicrobien de l'extrait de Menthe sur les bactéries starters du yaourt	148
2.4. Qualité des yaourts à l'extrait de <i>Mentha piperita</i> L.	150
2.4.1. Bactéries spécifiques du yaourt	150
2.4.2. Qualité physicochimique	151
2.4.3. Qualité organoleptique	154
2.4.4. Activité antioxydante du yaourt.....	155
2.4.5. Profil lipidique des yaourts.....	157
Conclusion partielle	161

**Chapitre III : Effets d'ajout d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L.
sur la qualité d'un yaourt étuvé**

1 .Résultats	162
1.1. Screening phytochimique de l'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L.	162
1. 2. Composés bioactifs de l'extrait	162
1.3. Profil en composés phénoliques de l'extrait	163
1.4. Activité antioxydante	166
1.5. Activité antibactérienne	166
1.5.1. Test de croissance	166
1.5.2. Diamètres d'inhibition	167
1.5.3. Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI)	169
1.5.4. Concentrations Minimales Bactéricides (CMB)	169
1.5.5. Types d'inhibition.....	170
1.6. Qualité du yaourt à l'extrait de menthe	170
1.6.1. Viabilité des bactéries starters du yaourt	170
1.6.2. Qualité physicochimique.....	172
1.6.3. Qualité organoleptique	174
1.6.4. Caractéristiques oxydatives des yaourts	177
1.6.5. Profil lipidiques des yaourts expérimentaux	179
2. Discussion	182
2. 1. Etude phytochimique de l'extrait.....	182
2.2. Potentiel antioxydant de l'extrait	184
2.3. Impact antimicrobien de l'extrait de Menthe sur les bactéries starters du yaourt	185
2.4. Qualité des yaourts à l'extrait de <i>Mentha piperita</i> L.	187
2.4.1. Bactéries spécifiques du yaourt.....	187
2.4.2. Qualité physicochimique.....	188
2.4.3. Qualité organoleptique.....	190
2.4.4. Activité antioxydante du yaourt.....	191
2.4.5. Profil lipidique des yaourts	194
Conclusion partielle	197
Conclusion générale	198
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction Générale

Introduction générale

Ces dernières années, on assiste à une tendance croissante des consommateurs orientée vers l'acquisition d'une alimentation saine et équilibrée basée sur un désir manifesté de disposer des produits alimentaires de hautes qualités offrant de multiples propriétés à la fois nutritionnelles et fonctionnelles pour l'organisme humain (**Villaño et al., 2022 ; Sgroi et al., 2024**). Il s'agit d'adopter une alimentation rationnelle spéciale en intégrant dans la conception des régimes les aliments fonctionnels qui, en plus de leurs qualités nutritionnelles habituelles, peuvent aussi exercer un ou plusieurs effets positifs sur au moins une fonction de l'organisme tout en étant en mesure de promouvoir l'état du bien être de l'individu ou plus encore prévenir une pathologie particulière (**Contor, 2001 ; Bouyahya, 2016**). Ces denrées sont positionnées entre les deux frontières aliments et médicaments d'où le nom "aliments"; mais d'autres appellations sont parfois utilisées telles que aliments fonctionnels, aliments-santé, nutraceutiques ou cosmétofood (**Bouyahya, 2016**).

Le concept "aliments fonctionnels" est récent et a vu le jour au Japon lorsque le gouvernement a lancé en 1984 des projets de recherches de grandes envergures portant l'intitulé : "Analyses systématiques et développement d'aliments fonctionnels". Depuis lors, le marché des aliments est en pleine essor (**Lafarga & Hayes, 2020**) et a connu une nette évolution pour atteindre un chiffre d'affaire de 280.7 milliards de dollars en 2021, quoi que ce marché a été influencé pendant les années de la pandémie COVID-19 (entre 2020 et 2023) où malgré la forte demande en aliments enregistrée par la population de par leurs effets bénéfiques sur la santé notamment en termes du renforcement du système immunitaire, leurs production globale durant cette période au contraire a diminué d'une manière drastique en raison de la perturbation de la chaîne d'approvisionnement suites aux fermetures des frontières et de la limite des échanges imposées dans la plupart des pays du monde. Cependant, les projections jusqu'à 2030 prévoient un taux de croissance important de ce secteur estimé à plus de 8.5 % (**Size, 2019**) attribuable non seulement aux effets bénéfiques démontrés des aliments sur le bien être globale du consommateur, mais aussi au moindre coût de revenu thérapeutique et au risque réduit du développement d'effets secondaires chez les patients (**Nilles et al., 2001 ; Bouyahya, 2016**).

Globalement, un aliment peut être un aliment allégé par réduction de la teneur de l'un de ces composants ou bien un aliment enrichi par amélioration de sa composition initiale par des procédés technologiques, biotechnologiques ou encore par une simple incorporation d'un ou plusieurs composés bioactifs (**Bouyahya, 2016**), dont 80% sont issus de sources naturelles incluant particulièrement les polyphénols, qui se rangent parmi les substances phytochimiques les plus répondues sur le marché des aliments fonctionnels (**Qilong et al., 2013 ; Santos-Buelga et al., 2019**).

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des métabolites secondaires que les plantes produisent comme moyen de défense lors des conditions défavorables engendrées par les différents types de stress biotiques comme les insectes, les microorganismes pathogènes, les plantes parasitaires, les animaux ... etc, ou abiotiques tels que la température, la sécheresse, la salinité du sol, la déficience en éléments nutritifs, la lumière, le rayonnement UV, la pollution ... etc (**Anjali et al., 2023**). En terme de structure, ces composés varient des plus simples tels que l'acide salicylique aux polymères très complexes comme les lignines et les subérines

(Lone et al., 2023). Parmi tous les composés phénoliques existant les flavonoïdes constituent le groupe le plus abondants dans le règne végétal, incluant plus de 4000 molécules (Shang et al., 2022) constitués notamment de flavones, flavanones, flavanols, flavonols, flavononols, isoflavonoïdes et anthocyanidines (Shen et al., 2022 ; Huynh et al., 2024). Le pouvoir antioxydant de ces polyphénols en fait d'eux des agents piègeurs concurrentiels des radicaux libres (Lone et al., 2023), assurant ainsi une meilleure protection contre le stress oxydatif cellulaire et la peroxydation lipidique d'où leur utilité de les incorporer en tant qu'ingrédients bioactifs dans la fabrication d'aliments fonctionnels (Rudrapal et al., 2022 ; Añibarro-Ortega et al., 2024). Dans ce contexte, il est fortement recommandé par les diététiciens de consommer une alimentation riche en composés phénoliques afin de réduire les risques d'atteinte de diverses maladies chroniques dont cardiovasculaires, neurodégénératives, troubles inflammatoires, diabète, cancers...etc. (Rudrapal et al., 2022).

L'usage des produits laitiers fermentés dont le yaourt comme matrices alimentaires de choix dans la fabrication d'aliments fonctionnels a gagné une popularité de plus en plus croissante ces dernières années chez les consommateurs. L'une des raisons serait leur forte consommation par les individus soucieux de préserver leur santé et état de bien être manifestant une préférence particulière pour les produits laitiers supplémentés en ingrédients bioactifs (Granato et al., 2010 ; Kandyliari et al., 2023).

Le yaourt est l'un des produits laitiers fermentés le plus populaires, fabriqué par acidification fermentaire du lait par les deux bactéries lactiques spécifiques dont *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (Gahruie et al., 2015). De par ses caractéristiques sensorielles et nutritionnelles, il est très apprécié et largement consommé dans le monde entier (Jaster et al., 2018). Il constitue une excellente source de protéines, calcium, phosphore, magnésium, zinc, vitamines, d'acide linoléique conjugué et d'autres acides gras essentiels (Gahruie et al., 2015). Cependant, étant limité en composés bioactifs son renforcement en substances secondaires des plantes comme additifs naturels tels les composés phénoliques peut enrichir sa composition et contribuer à la production de nouveaux produits alimentaires pouvant satisfaire la demande sans cesse croissante des consommateurs (Alenisan et al., 2017).

Dans la diversité des plantes, *Mentha piperita* L., ou "menthe poivrée" appartenant à la famille des Lamiaceae, est couramment employée dans la préparation des boissons chaudes dont le traditionnel thé touareg Algérien (Benhabyles-Bouttaba et al., 2018), ainsi que dans les salades et les plats cuisinés pour y ajouter du goût et de l'arôme (Mahendran & Rahman, 2020 ; Ayoub et al., 2023). Elle est aussi utilisée en médecine traditionnelle pour traiter de multiples maladies en l'occurrence les rhumes, les douleurs musculo-squelettiques, les troubles du tractus gastro-intestinal et les inflammations de la bouche et du pharynx (Trevisan et al., 2017). Le secret de ces vertus est lié à sa grande richesse en de nombreux composés phytochimiques, dont les polyphénols incluant surtout les acides phénoliques tels que l'acide rosmarinique et l'acide caféique (Elansary et al., 2020) et des flavones dont la lutéoline, l'acacétine et la cosmosiine (Kürekci & Beyazit, 2022), qui ont démontré une efficacité thérapeutique comme antioxydants tout en étant moins toxiques que les molécules de synthèse (Zeb, 2020). Ces caractéristiques en font un atout majeur pour l'industrie alimentaire, du fait que les composés phénoliques ajoutés aux aliments transformés peuvent ralentir la dégradation oxydative de certains constituants notamment lipidiques, assurant ainsi

à la fois une bonne qualité nutritionnelle et fonctionnelles du produit transformé (**Mallick et al., 2016**). Les propriétés antibactériennes reconnues de ces composés en fait aussi de bon conservateurs alimentaires (**Bouarab Chibane et al., 2019**).

Ce travail de recherche consiste donc à étudier les possibilités d'améliorer la qualité d'un yaourt étuvé par l'ajout d'extraits de *Mentha piperita* L., riches en principaux composés phénoliques pouvant contribuer à la mise en disposition des consommateurs d'un nouveau produit fonctionnel alliant les vertus probiotiques conventionnelles des yaourts et les bienfaits santé des composés bioactifs de la menthe poivrée.

Les objectifs fondamentaux de notre travail de recherche sont doubles, dont le premier est de développer des connaissances théoriques sur la fabrication du yaourt et les possibilités et approches relatives à l'amélioration de la qualité nutritionnelles et fonctionnelles notamment en terme d'activité antioxydante des laits fermentés ; le yaourt en particulier ; par usage d'additifs naturels. Le second objectif consiste à l'exploitation des connaissances requises dans la formulation d'un yaourt étuvé enrichis en extraits phénoliques de *Mentha piperita* L. et de suivre l'évolution de sa qualité au cours du stockage au froid positif de 6°C.

La thèse est structurée en 3 parties :

- La première partie bibliographique comporte deux chapitres dont le premier a été consacré à une description exhaustive des yaourts aux plans des aspects technologiques, physico-chimiques, microbiologiques, de leurs bienfaits nutritionnels et sanitaires ainsi que des possibilités de leurs enrichissements par usage d'additifs naturels. Le deuxième chapitre a porté sur la menthe poivrée « *Mentha piperita* L. » où l'essentielle des connaissances sur cette plante cultivée dans certaines régions du pays ont été décrites dont composition phytochimique, activités biologiques et pharmacologiques, utilisations et considérations à prendre en charge dans la formulation des produits laitiers fermentés.
- La deuxième partie de la thèse rapporte la méthodologie expérimentale adoptée pour l'extraction et l'analyse des extraits phénoliques de *Mentha piperita* L., l'estimation, ensuite, de leurs effets sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt et l'étude, enfin, de l'impact de leurs usages dans la formulation d'un yaourt étuvé sur notamment la qualité globale et fonctionnelle du produit et sur son degré d'acceptabilité par les consommateurs.
- Enfin, la troisième partie du manuscrit a concerné la critique et la discussion des résultats obtenus clôturées par une conclusion générale et des perspectives à entreprendre dans un future proche afin de promouvoir sur le marché local et international la production de nouveaux yaourts alicaments renforcés de composés phénoliques des plantes médicinales dont les effets diététiques très bénéfiques pour la santé seront certainement très recherchés et appréciés par les consommateurs.

Partie 1

Etude bibliographique

Chapitre I

Généralités sur les yaourts
***(Aspects microbiologiques, biochimiques,
technologiques et nutritionnels)***

Chapitre I. Généralités sur les yaourts (Aspects microbiologiques, biochimiques, technologiques et nutritionnels)

1. Préambule

Les produits laitiers fermentés font partie des denrées alimentaires les plus consommées dans le monde apportant une contribution majeure à l'alimentation humaine en tant que composants nutritionnels (**Gahruie et al., 2015**). Parmi les produits laitiers fermentés, le yaourt est l'un des plus populaires et a la réputation d'être un aliment sain (**Mckinley, 2005**). Il est obtenu par fermentation du lait sous l'action de cultures bactériennes comprenant une combinaison des bactéries du genre *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (**Tamime & Robinson, 1999 ; Saleh et al., 2020**).

Le yaourt offre aux consommateurs une valeur nutritionnelle meilleure que le lait en étant une excellente source de protéines, de minéraux (calcium, phosphore, magnésium et zinc) et de vitamines telles que la thiamine (B1), la riboflavine (B2), la niacine (B3), l'acide folique (B9) et la cobalamine (B12) (**Gahruie et al., 2015**). En outre, sa consommation est associée à de nombreux avantages pour la santé, dont la réduction des diarrhées et la prévention du risque de cancer colorectal (**Pala et al., 2011 ; Saad et al., 2013**). Il est admis que ces bienfaits sont dus au maintien d'un microbiote intestinal équilibré ainsi qu'à la régulation du microenvironnement du système immunitaire intestinal (**Fernandez et al., 2017 ; Kok et al., 2018**).

2. Historique

De nombreuses théories ont été émises sur la production du premier yaourt. On pense que le premier yaourt a été produit au Moyen-Orient, vers 10000 à 5000 ans avant J.-C., lorsque des bergers voyageaient sous le soleil brûlant sur des chameaux et emportaient du lait dans des sacs fabriqués de boyaux intestinaux. Ils se sont rendu compte que leur lait s'est transformé en crème piquante et que la chaleur et l'agitation causée par les mouvements des chameaux ainsi que le contact avec les sucs intestinaux formaient une ambiance idéale pour faire fermenter le lait tout en permettant sa conservation pendant de longues périodes de temps. Le hasard a voulu qu'il ne s'agit pas d'organismes producteurs de toxines ; mais de bactéries acidifiantes et inoffensives intervenant dans la transformation du lait (**Bourlioux et al., 2011**).

100 ans avant J.-C., le yaourt était déjà bien connu par les empires romains. Ils ont mentionné sa production par les tribus barbares qui ont cité le yaourt comme étant une essence divine et l'ont utilisé comme remède à de nombreux maux (**Fisberg & Machado, 2015**). Les Turcs qui consommaient couramment le yaourt étaient les premiers à évaluer et à mentionner ses effets bénéfiques à la santé et à guérir certaines maladies telles que les diarrhées et ce n'est qu'en 1542 que le yaourt était introduit en Europe occidentale suite à la maladie du roi François 1^{er} qui a été atteint d'une fièvre à l'estomac, et à cet effet le sultan ottoman Süleyman le magnifique lui a envoyé du yaourt comme "aliment curatif" (**Özden, 2008 ; Yildirim et al., 2014**).

En 1905, Stamen Grigorov, un jeune chercheur bulgare travaillant sur le yaourt bulgare, a été le premier à découvrir la bactérie *Bacillus bulgaricus* spécifique au yaourt. Puis, dans la continuité des travaux de Grigorov, le bactériologiste russe Elie Metchnikoff a révélé que *Lactobacillus bulgaricus*, qui produit l'acide lactique, était accompagné d'une autre bactérie

"*Streptococcus thermophilus*" ce qui donne de la saveur au yaourt (Fisberg & Machado, 2015).

En 1910, dans son ouvrage intitulé "The Prolongation of Life", Metchnikoff a réussi à expliquer les effets bénéfiques à la santé liés à la consommation du yaourt et il a suggéré que la longévité dans la population paysanne bulgare était associée aux lactobacilles présents dans le yaourt (Aryana & Olson, 2017 ; Andrak et al., 2022). Cette découverte a été une révolution dans le monde du yaourt et a permis de mettre en œuvre une méthode de production sûre et régulière par la culture des deux ferments traditionnels du yaourt qui sont utilisés à ce jour.

La production a été industrialisée en 1917 à Barcelone par Isaac Carasso, qui a lancé la marque Danone. À cette époque, le yaourt fut prescrit par les médecins et vendu exclusivement en pharmacie et en 1932, Daniel, le fils d'Isaac Carasso (d'où vient le nom de Danone) a lancé le produit en France (Fisberg & Machado, 2015).

Le yaourt est devenu populaire en Amérique du Nord avec la création de la petite usine de yaourts Dannon à New York en 1940. Cependant, bien que son évolution remonte à plusieurs siècles, il a connu au 20^{ème} siècle un développement dynamique et important donnant naissance à une vaste gamme de produits, à savoir les yaourts aux fruits, les yaourts à base de fruits et les yaourts mélangés, qui ont été respectivement introduits en 1937, 1947 et 1963 (Weerathilake et al., 2014).

3. Appellations, définitions et réglementation

Le mot " yaourt " dériverait du mot turc " yogurmak " ou " jugurt ", qui signifie coaguler, épaissir ou cailler (Fisberg & Machado, 2015). Cependant, l'évolution du produit dans différentes parties du monde a contribué à l'apparition de différents types de yaourts et de laits fermentés similaires portant des noms variés (Weerathilake et al., 2014), comme le résume le (Tableau 1).

La FAO (Food Agricultural Organisation, 1970), la Food and Drug Administration (FDA, 1996), le Codex Alimentarius (2011) et la législation Algérienne (Journal officiel, 2021) s'accordent sur la définition du yaourt ou yoghourt comme étant un lait fermenté coagulé résultant du développement exclusif des deux bactéries lactiques thermophiles spécifiques dites *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*ensemencées simultanément et retrouvées vivantes dans le produit fini à un seuil d'au moins 10⁷ UFC par gramme de produit.

Selon la réglementation en vigueur dans de nombreux pays, les bactéries du yaourt doivent être maintenues vivantes dans le produit proposé au consommateur. D'autres pays autorisent, cependant, le traitement thermique destiné à améliorer la durée de conservation du yaourt ; mais un tel traitement reste déconseillé, étant donné qu'il détruit les deux germes spécifiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) responsables des multiples effets bénéfiques pour la santé (FAO, 1995).

La quantité idéale d'acide lactique du yaourt a été fixée dans certains pays de 0.6 à 1.5 g /100g (Barretto et al., 2020 ; de Moura et al., 2019), alors qu'elle doit être maintenue à un niveau minimal de 0.7 g dans 100 g de yaourt dans d'autres pays (Syndifrais, 1997).

Par ailleurs, la norme **A-11a du Codex Alimentarius (1975)** autorise l'addition facultative de substances telles que la poudre de lait écrémé, le saccharose, des protéines du lactosérum concentrées ou non concentrées, ou du lactosérum concentré ou non concentré aux yaourts.

Tableau 1. Appellations du yaourt et des produits similaires dans les différentes régions du monde (Tamime & Robinson, 1999 ; Weerathilake et al., 2014).

Région	Pays, île ou région d'origine	Nom traditionnel du yaourt ou lait fermenté
Asie et Moyen Orient	Liban et certains pays arabes	Leban/labani
	Égypte et Soudan	Zabady/zabade
	Iran et Afghanistan	Mast/dough/doogh
	l'Irak	Roba/rob
	l'Inde	Dahi/dadhi/dahee
	Mongolie	Tarag
	Népal	Shosim/sho/thara
Europe	Turquie	Jugurt/eyra/ayran
	Balkans	Kisselmleka/naja/yaourt
	Montagnes des Balkans	Urgotnic
	Grèce	Yiaourti
	Italie	Cieddu
	Sicile	Mezzoradu
	Sardaigne	Gioddu
	Hongrie	Tarho/taho
	Finlande	Viili
	Scandinavie	Filmjolk/fillbunke/filbunk/surmelk/taettem
	Islande	Skyr
	Yougoslavie	Gruzoviz
Portugal	logurte	
Eurasie	Russie	Donskaya/varenetes/kurugna/ryzhenka/ guslyanka
	Turkestan	Busa
	Arménie	Mazun/matsoon, matsun, matsoni, madsoon

4. Données économiques

Parmi les produits laitiers fermentés, le yaourt est considéré comme étant le plus populaire, avec un marché mondial estimé à 551.2 milliards de dollars en 2019 et qui devrait atteindre 703.5 milliards de dollars en 2025 (Wan et al., 2021 ; Mehra et al., 2022). Les principaux pays producteurs du yaourt sont la Chine avec 6 million de tonnes par an, l'Iran avec 4 millions de tonne, ainsi que la Turquie et la Russie avec, respectivement, 2.8 et 2.5 millions de tonnes par an (Granato et al., 2018).

En Algérie, 3.4 milliard de litres de lait sont transformés, dont 0.8 milliards sont destinés à la fabrication des desserts, lait fermentés et yaourt (Agroligne, 2015). Parmi les plus importants producteurs du yaourt en Algérie nous citerons : Soummam, Hodna, Trèfle, Danone, quelques unités du groupe Giplait, ainsi qu'un nombre de plus en plus importants de laiteries de taille moyenne. La Soummam avec environ 45% du marché et Danone avec environ 25% sont les leaders du marché Algérien, suivis par Hodna et Trèfle (Agroligne, 2015).

Cependant, la consommation de yaourts, desserts lactés et autres produits laitiers est très marginale pour la population Algérienne en comparaison avec le lait. Ceci est essentiellement dû au pouvoir d'achat faible de la population, d'autant plus que les prix de ces produits sont

libres sur le marché, à la différence du lait en sachet qui est subventionné et proposé à un prix de 25 Dinars Algériens (Ramdane et al., 2019).

5. Classification des yaourts

Le marché international propose une grande variété des yaourts qui diffèrent par leurs structures, saveurs et/ou de formes (Bankole et al., 2023). Pour les classer plusieurs critères sont pris en considération incluant notamment le contenu en matière grasse, la nature physique, ainsi que les arômes ajoutés au produit (Talib et al., 2024).

5.1. En fonction du contenu en matière grasse

Selon la teneur en matières grasses, trois grandes catégories de yaourt peuvent être distinguées: le yaourt ordinaire produit à partir du lait entier qui doit contenir une teneur minimale de 3.25 % en poids de matières grasses du lait (FDA, 1996), le yaourt allégé produit à partir du lait partiellement écrémé et qui renferme de 0.5 à 2 % (en poids) de matières grasses du lait (Saleh et al., 2020) et en fin le yaourt sans matières grasses dont le contenu en matière grasse est moins de 0.5 % en poids (Brennan & Tudorica, 2008).

5.2. En fonction de la nature physique

Les yaourts peuvent avoir un aspect ferme, semi-ferme ou fluide. Le yaourt ferme (ou étuvé) est un yaourt figé, souvent fermenté et refroidis dans son emballage final et se distingue par une texture gélatineuse très proche à celle d'une gelée (Bankole et al., 2023). Tandis que le yaourt semi-ferme ou brassé est produit par fermentation en cuve, ensuite le coagulum formé est brisé mécaniquement par brassage avant d'être refroidi et emballé (Luquet et Carrieu, 2005 ; Wang et al., 2020). En fin, le yaourt fluide ou à boire subit généralement un processus d'homogénéisation visant à réduire la taille des particules assurant ainsi une distribution hydro-colloïdale et une stabilisation de la suspension de protéines (Gilbert & Turgeon, 2021).

5.3. En fonction de l'arôme

L'ajout d'arômes améliore la saveur du produit et permet donc d'avoir des produits à la fois attrayants et variés. Selon leur saveur, les yaourts peuvent être classés en yaourts naturels, aux fruits et aromatisés.

Le yaourt nature est le yaourt le plus simple, sans aucune addition (ni sucre, ni colorant ni d'autres additifs), le moins altéré au plan organoleptique et fournit peu de calories, alors qu'il est le plus riche en calcium parmi les différents types de yaourt (Wu et al., 2022), contrairement au yaourt aromatisé auquel on ajoute pendant la phase de production des exhausteurs de goût et/ou des arômes notamment de fruits (fraise, abricot, pêche, cassis, framboise, citron, ou autres), de céréales, de vanille, de chocolat, de caramel, de gingembre, ...etc, permettant non seulement d'augmenter la douceur du produit, mais aussi d'obtenir un large éventail de goûts (Weerathilake et al., 2014).

Le yaourt peut aussi être additionné de morceaux de fruits ajoutés au stade de la production, ce qui permet de varier les goûts tout en augmentant l'attrait du consommateur au goût sucré. Les fruits ajoutés sont soit disposés au fond de l'emballage (yaourt de type sundae), ou uniformément répartis dans le yaourt lui-même (yaourt de type suisse) (Robinson et Tamime, 1986 ; Yildiz, 2010).

6. Procédés de fabrication du yaourt

La fabrication du yaourt est une procédure ancienne dont les connaissances ont été transmises à travers les générations. Toutefois, ces dernières dizaines d'années l'évolution scientifique notamment dans les domaines de biochimie, de microbiologie et de l'ingénierie alimentaire a fait de la fabrication du yaourt une technique plus complexe mais plus rationnelle et efficace (Tamime & Robinson, 1999).

6.1. Matières premières et ingrédients

Pour la fabrication du yaourt des ingrédients laitiers et d'autres non laitiers sont utilisés.

6.1.1. Ingrédients laitiers

La principale matière première utilisée pour la fabrication du yaourt est bien le lait, dont pour l'essentiel, le lait de vache. Il est constitué d'environ 88% d'eau et de 12% de matière sèche contenant des glucides, des protéines, des lipides et des minéraux (Tamime & Robinson, 1985). Néanmoins, il est aussi possible de remplacer le lait de vache par du lait de chèvre, de brebis ou de bufflonne et dans certains cas le lait en poudre peut constituer une alternative efficace (Tamime & Robinson, 1999 ; Bankole et al., 2023).

Le lait utilisé doit être de bonne qualité microbiologique, exempte d'antibiotiques ou d'autres inhibiteurs et parfaitement homogénéisé. Il peut être frais ou recombinaison (FAO, 1998), entier (3.5% de MG), partiellement écrémé (1.8 à 1.5% de MG) ou totalement écrémé (0% de MG) (Mahaut et al., 2000).

En outre, d'autres ingrédients laitiers peuvent être ajoutés afin d'améliorer la viscosité apparente et la consistance du produit fini. On peut citer : la poudre de lait écrémé ou entier, les concentrés de protéines de lait, le lait condensé, la poudre de lactosérum, les concentrés de protéines de lactosérum, babeurre en poudre et les caséinates de sodium ou de calcium (Van Marle, 1998 ; Mahaut et al., 2000 ; Aryana et Olson, 2017).

6.1.2. Ingrédients non laitiers

Outre les ferments lactiques impliqués dans le processus de fermentation, une multitude d'ingrédients peuvent être incorporés dans le yaourt. Il peut s'agir par exemple de fruits sous différentes formes (purée, jus, pulpe, sirop...etc.), de sucre ainsi que d'autres additifs alimentaires à intérêts technologiques et/ou organoleptiques.

La quantité d'ingrédients non laitiers est fixée par le Codex Alimentarius, la FIL et la plupart des pays à moins de 30% en poids du produit fini (Saadoudi, 2019).

6.1.2.1. Ferments lactiques

La méthode conventionnelle de fabrication du yaourt est basée sur l'action fermentaire des cultures de départ (ou cultures starters) composées des deux bactéries lactiques *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* cultivées simultanément, le plus souvent dans un rapport de 1:1 ou 1:2 (P/P ; *Lactobacillus bulgaricus*/*Streptococcus thermophilus*) (Dan et al., 2023). Ces espèces bactériennes qui entretiennent une relation symbiotique fermentent le lactose du lait en produisant divers métabolites dont l'acide lactique et l'acétaldéhyde. Cependant, le yaourt peut également contenir des cultures auxiliaires et bactéries probiotiques telles que *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium animalis* (Aryana & Olson, 2017).

6.1.2.2. Fruits

D'un point de vue commercial, l'ajout de fruits au yaourt contribue fortement à l'augmentation de leur vente sur le marché (Aryana & Olson, 2017). Parmi les fruits les plus couramment utilisés dans la production du yaourt sont souvent cités : la pêche, la framboise, la fraise, la cerise, l'orange, le citron, et l'ananas (Saal et Krebs, 1975 ; Aryana & Olson, 2017).

6.1.2.3. Additifs alimentaires

Le recours aux additifs dans les formulations industrielles du yaourt est destiné à améliorer ses propriétés technologiques et sensorielles. Cependant, la liste des additifs autorisés par le Codex Alimentarius est restreinte et adaptable selon les réglementations des pays (Béal & Helinck, 2019). Les principaux groupes de ces additifs sont résumés comme suit :

➤ **Agents de conservation** : Dans l'objectif de prolonger la durée de vie du yaourt, on utilise les sorbates de potassium (Cheftel et Cheftel, 1977). L'acide sorbique et ses sels du sodium, du potassium, du calcium, l'anhydride sulfureux, l'acide benzoïque peuvent être également ajoutés (Codex Alimentarius, 2003).

➤ **Arômes** : L'usage des arômes dans le yaourt est facultatif. Ils sont généralement utilisés sous formes d'essences ou d'extraits naturels des fruits comme ils peuvent être synthétisés. Dans certains pays, tels que la France, les arômes synthétiques sont formellement interdits (Veisseyre, 1975).

➤ **Édulcorants** : A l'heure actuelle, la plupart des yaourts, autres que les yaourts naturels, sont édulcorés, généralement par l'ajout de sucre ou d'agents édulcorants avant la fermentation, dans une proportion comprise entre 5 et 10 % du lait. Cette adjonction de sucre dont le but est de réduire la perception de l'acidité des produits et d'améliorer leur saveur, constitue un critère déterminant le choix des ferments lactiques, dont certaines souches sont vulnérables à la diminution de l'activité de l'eau provoquée par cette intervention. Afin de ne pas entraver le processus de l'acidification, le sucre peut être introduit en deux étapes par ajout d'une partie avant la fermentation et de la deuxième partie après la fermentation. Étant donné la sensibilité de ces produits au chauffage, leur ajout est toujours effectué après le traitement thermique. Généralement, le sucre utilisé est le saccharose, sous forme cristallisée ou liquide (sirop). Il est aussi fréquent de faire usage du sucre inverti (sirop de saccharose hydrolysé), composé de glucose et de fructose en proportions égales. Il présente l'avantage de rester liquide même lorsque la teneur en matière sèche est élevée (65 à 67 %). Des sirops de sucre inverti dans lesquels une partie du glucose a été isomérisée en fructose (sirops à haute teneur en fructose) peuvent également être utilisés. Ceux-ci offrent un pouvoir sucrant plus élevé que les précédents. Dans le cas des produits allégés, l'ajout d'aspartam ou de polyols est également possible (Béal & Helinck, 2019).

➤ **Stabilisants** : Grâce à leur capacité à former des liens avec les particules de protéines les stabilisants ajoutés au yaourt permettent d'améliorer la viscosité et la texture ainsi que la sensation en bouche du produit (Ares et al. 2007 ; Karam et al., 2013). Ils agissent comme agents liants, gélifiants ou épaississants. Les plus fréquents à introduire dans le yaourt et les boissons à base de yaourt comprennent la pectine, l'amidon modifié, la gélatine, la gomme de caroube, la gomme de xanthane, la carraghénine et la carboxyméthyl-cellulose (Chandan et O'Rell, 2006).

6.2. Étapes de fabrication des yaourts

Dans le processus de fabrication du yaourt les propriétés du lait sont modifiées irréversiblement en passant par trois étapes principales :

- la préparation du lait (réception et stockage, puis standardisation) conduisant au "mélange" ;
- la fermentation conduisant à une "masse blanche" (yaourt cru avant l'incorporation de tous les ingrédients) ;
- le traitement post-fermentaire permettant d'obtenir le produit fini.

Il existe divers diagrammes de production adaptés aux types de produit fabriqué (yaourt ferme, brassé, à boire ou concentré). Le schéma général de fabrication du yaourt est représenté dans la (Figure 1).

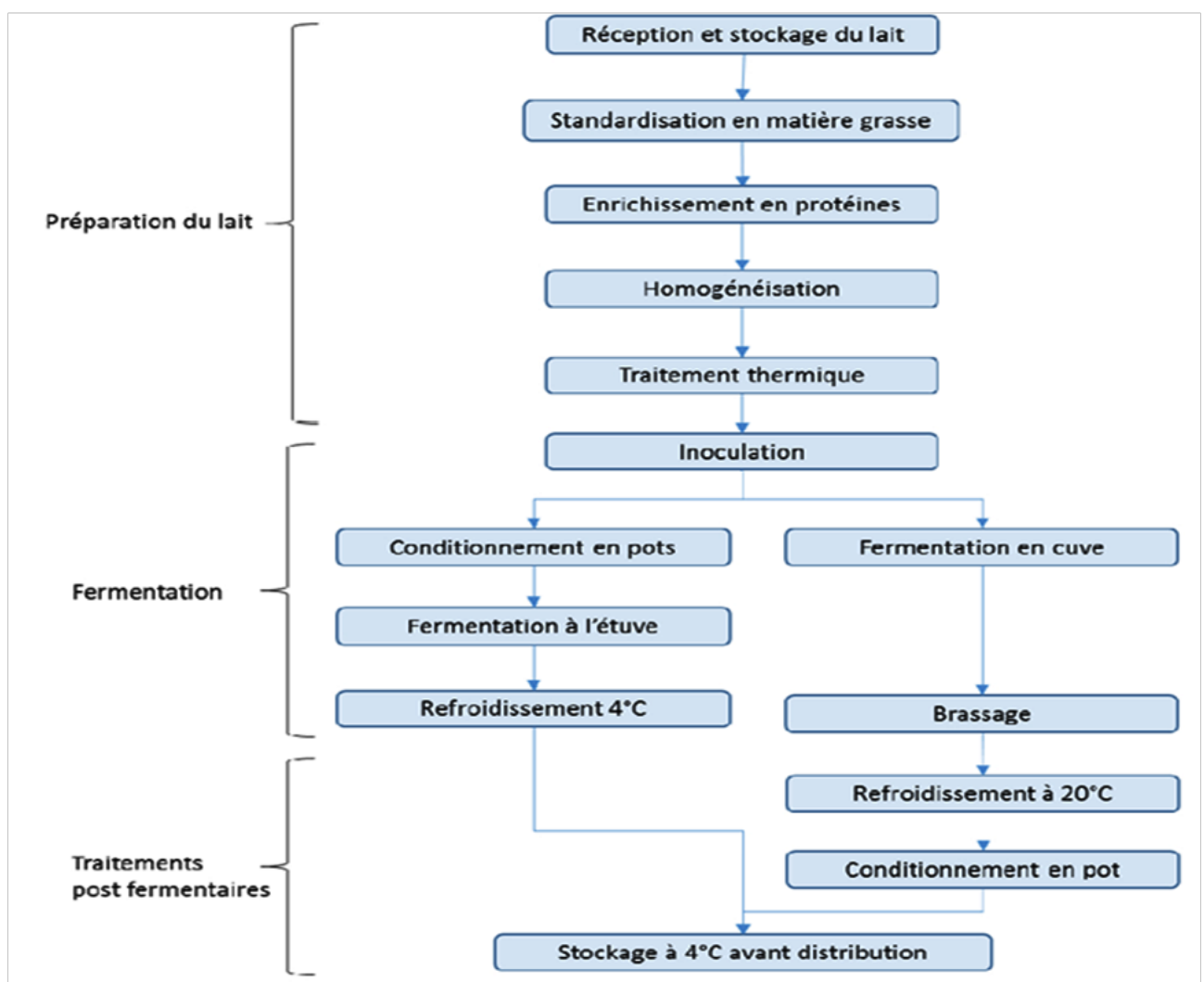


Figure 1. Diagramme général du procédé de fabrication des yaourts fermes et des yaourts brassés (Lesme, 2019).

6.2.1. Réception et stockage

Après la traite, le lait est collecté dans un délai maximal de 72 heures et transporté en citernes frigorifiées à une température de 6°C. Au moment de la réception à l'usine, le lait fera l'objet d'un contrôle vigoureux portant sur des paramètres relatifs à sa qualité sanitaires (tels que la

température de transport, l'acidité titrable, le dépistage des antibiotiques et le dénombrement des cellules somatiques et de germes totaux) et d'autres tests d'évaluation de sa qualité technologique dont notamment la densité et les taux de matière grasse et de matières azotées (Tableau 2).

Tableau 2. Exemple de spécifications requises du lait destiné à la fabrication du yaourt (Béal & Helinck, 2019).

Paramètres	Valeurs
Température à la réception	<10 °C
Germes totaux	$\leq 10^5$ UFC /mL
Cellules somatiques	$\leq 4.0 \times 10^5$ cellules / ml
Acidité titrable	Acide lactique ≤ 2 g / L
Matières grasses	≥ 3 g /100g
Matières azotées	≥ 3 g /100g

Après contrôle le lait est filtré afin d'éliminer les résidus solides (feuilles et pailles), puis stocké au froid (< 5 °C) dans des cuves en inox équipées d'agitateurs pour prévenir la remontée de la matière grasse. Dans le cas où la durée de stockage du lait dépasse 24 heures, le lait doit être soumis à une légère thermisation (à 60-65 °C pendant 15 secondes) visant à inhiber la prolifération des germes psychrophiles susceptibles d'altérer la saveur du produit (Béal & Helinck, 2019).

6.2.2. Standardisation

Le lait (frais, combiné ou mélange des deux) destiné à la fabrication du yaourt doit être standardisé en termes de matières grasses et de protéines, afin de répondre aux spécifications nutritionnelles et aux critères organoleptiques des produits et de limiter la variabilité de ceux-ci. Le contenu en matière grasse du lait est ramené à la proportion souhaitée par l'addition de la crème ou de la poudre de lait écrémé (Karam et al, 2013).

La teneur totale en solides non gras du lait standardisé en matière grasse est souvent augmentée afin de parvenir à une concentration en protéines comprise entre 40 et 50 g/kg (Sodini et al. 2005). Cet apport en matière sèche constitue une étape clé permettant d'améliorer les caractéristiques fonctionnelles et nutritionnelles du produit, ainsi que la prévention des défauts de texture telles qu'une fermeté insuffisante du gel et la synérèse (Karam et al, 2013). L'enrichissement en matière sèche est réalisé soit en procédant à une concentration (évaporation sous vide) suivie d'un traitement membranaire (ultrafiltration ou osmose inverse), soit par ajout du lait écrémé en poudre ou d'ingrédients laitiers (lactosérum, protéines sériques, caséines, caséinates) (Tamime & Robinson, 2007 ; Peng et al., 2009). Cette préparation du lait enrichi en matière sèche, standardisé en matière grasse et éventuellement sucrée et constitue ce qui est appelé "le mélange" (Beal & Sodini, 2003).

6.2.3. Homogénéisation

Le lait standardisé (ou mélange laitier) subit une homogénéisation réalisée en deux étapes à des pressions de 10 à 20 MPa puis 5 MPa et une température comprise entre 55 et 65°C (Lee

& Lucey, 2010). Il s'agit d'une rupture mécanique des globules gras de manière à réduire leur taille (de 4-5 μm à 1 μm de diamètre), leur permettant ainsi d'être mieux dispersés dans le mélange et de rester en suspension. L'homogénéisation du lait est une étape essentielle dans la fabrication du yaourt visant à atteindre des objectifs multiples tels que la prévention de la remontée de la matière grasse (ou le crémage) au cours des opérations de fabrication notamment pendant la période d'incubation en pots ou en cuves de fermentation, ainsi que l'amélioration de la fermeté du gel formé après la fermentation et augmenter sa capacité de rétention d'eau réduisant ainsi l'exsudation du lactosérum ou la synérèse du lait. Elle permet également d'obtenir un mélange homogène d'ingrédients laitiers ajoutés lors de l'étape de standardisation et de conférer au mélange laitier une couleur plus blanche (**Sodini & Béal, 2003**).

6.2.4. Traitement thermique

Le mélange laitier homogénéisé est soumis à un traitement thermique rigoureux, effectué le plus souvent à 90-95°C pendant 3 à 5 minutes (**Mahaut et al., 2000**). Un tel traitement agit à la fois sur la flore microbienne ainsi que sur les caractéristiques physico-chimiques et fonctionnelles du lait. Il contribue à la création d'un environnement propice au développement des bactéries lactiques par la génération de facteurs de croissance (acide formique et composés azotés assimilables) (**Loones, 1994**), l'inactivation des inhibiteurs de croissance tels que les lactopéroxydases et l'élimination des germes pathogènes et indésirables permettant d'assurer l'innocuité du produit (**Boudier, 1990 ; Sodini & Béal, 2003**). Le traitement thermique améliore également la qualité physique du yaourt par la dénaturation des protéines sériques qui vont se lier à la surface des micelles de caséine par des ponts disulfures, empêchant le regroupement des micelles au cours de l'acidification et prévenant ainsi l'apparition de gros agrégats et de larges pores dans le gel lactique contribuant aussi à atténuer le phénomène de la synérèse (**Sodini & Béal, 2003**). Il entraîne aussi des modifications des équilibres salins, provoquant un accroissement de la taille des micelles de caséine, une augmentation de leur stabilité et de leur capacité de rétention d'eau (**Mahaut et al., 2000**), conduisant à une meilleure fermeté du gel en fin de fermentation (**Mottar et al., 1998 ; Jeantet, et al., 2008**).

6.2.5. Fermentation lactique

Le mélange laitier traité thermiquement est ramené à la température d'incubation (40-45°C) (**Sodini & Béal, 2003**) puis inoculé par une culture mixte composée de deux souches bactériennes homofermentaires : *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* subs. *bulgaricus* (**Tamime & Robinson, 2007 ; Karam et al., 2013**). L'ensemencement de ces cultures se fait à des taux suffisamment importants, de 1 à 7%, lors des inoculations indirectes effectuées à partir d'un levain dont le rapport *Streptococcus thermophilus/Lactobacillus bulgaricus* est de 1.2 à 2 pour les yaourts naturels, et jusqu'à 10 pour les yaourts aux fruits (**Boudier, 1990 ; Mahaut et al., 2000**). En se développant, ces bactéries dégradent le lactose en acide lactique, entraînant une baisse du pH et une gélification du lait. Elles produisent en outre divers composés volatils aromatisants (acétaldéhyde, diacétyle, acétoïne, acétate d'éthyle) (**Imhof et al., 1994 ; Ott et al., 1997**) ainsi que des exopolysaccharides (**Cerning et al., 1990**) contribuant à la texture et l'arôme du yaourt.

Pour le yaourt ferme (étuvé), la fermentation a lieu directement dans des pots scellés remplis avec le lait inoculé et éventuellement additionné d'agents édulcorants, aromatisants,

épaississants, stabilisants ou de colorants (selon la réglementation en vigueur de chaque pays) (Sodini & Béal, 2003 ; Karam et al., 2013). Pour les yaourts fermes fruités, les préparations de fruits sont introduites dans le pot avant le remplissage. Les pots rapidement remplis et scellés de manière aseptique sont ensuite datés et incubés dans une chambre chaude où circule de l'air. Quant aux yaourts brassés et à boire, la fermentation a lieu dans des cuves de production équipées d'un système de brassage permettant l'homogénéisation du milieu une fois caillé (Sodini & Béal, 2003).

6.2.6. Refroidissement

Le refroidissement vise à stopper la fermentation par une descente rapide de la température du produit de 40-45°C à 4°C en vue de bloquer rapidement les activités enzymatiques et métaboliques des ferments lactiques et de prévenir les problèmes liés à la post-acidification. Il débute lorsque que le produit atteint un pH de 4.3 à 4.7 (Tamime & Robinson, 1985), et dure généralement 30 minutes à 1 heure. Les yaourts fermes sont refroidis en une seule étape, de 42°C à 5°C, dans des chambres froides équipées d'un système de circulation d'air réfrigéré ou dans des tunnels de refroidissement. Quant aux yaourts brassés, ils subissent un refroidissement rapide jusqu'à 25°C, puis sont soumis à un second refroidissement en pot, abaissant sa température à 4°C. Cette méthode présente l'avantage de conditionner le produit à une viscosité plus faible, tout en limitant les détériorations de la structure du gel (Sodini & Béal, 2003).

7. Bactéries spécifiques au yaourt

Dans la production de yaourt, le choix des souches bactériennes utilisées comme ferments a un impact significatif sur la qualité gustative, texturale et apparente du produit fini (Tropcheva, 2014). Le yaourt se présente comme un simple écosystème composé traditionnellement de deux espèces de bactéries lactiques ; *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*; qui vivent en symbiose et qui, par leurs activités fermentaires, confèrent au produit fini ses qualités organoleptiques (Courtin & Rul, 2004 ; Hossain & Momu, 2022). Ce sont des Gram positif, non sporulant, anaérobies ou aérobies facultatifs, qui produisent de l'acide lactique comme l'un des principaux produits de fermentation. Elles sont chimio-organotrophes et ne se développent que dans des milieux complexes (Vasiljevic & Shah, 2008).

La principale fonction de ces deux bactéries dans la fabrication de yaourt est d'abaisser le pH du lait à 4.6 (point isoélectrique de la caséine) ce qui entraîne la formation du coagulum et confère aussi un goût acide au produit fini. Elles produisent, également, des substances aromatiques telles que l'acétaldéhyde, la cétone, l'acétoïne et le diacétyle, qui donnent au yaourt une saveur particulière. Certains souches produisent en outre des polysaccharides, appelés aussi glycanes, permettant de renforcer la consistance du gel (FAO, 1995).

7.1. Caractéristiques générales des bactéries spécifiques du yaourt

7.1.1. *Streptococcus thermophilus*

Streptococcus thermophilus appartient à la famille des *Streptococcaceae*, au groupe des salivarius de la division Viridans (Hols et al., 2005). Elle se distingue des autres streptocoques en étant la seule labellisée GRAS (Generally Recognized As Safe) et reconnue officiellement comme une espèce non pathogène (FDA, 2002 ; FDA, 2012). Cette qualité lui vaut d'être largement utilisée dans les domaines alimentaires et pharmaceutiques. C'est une

bactérie lactique qui se présente sous forme de cocci organisées en paires ou en chaînes (**Figure 2**). Caractérisées par un faible contenu en GC (31 à 49%), à coloration Gram positif, non mobile, asporulée, dépourvues de catalase, de nitrate réductase et de cytochrome oxydase. Elle est anaérobie aérotolestante présentant une croissance optimale à une température de 42 à 45°C environ. Elle est hétérotrophe, exigeante de glucides simples comme source d'énergie et en acides aminés comme source d'azote et elle est dotée d'un métabolisme homofermentaire lui permettant de dégrader le lactose en acide lactique, qui est son principal produit. Grâce à une enzyme membranaire, la galactoside perméase, la membrane cellulaire de *Streptococcus thermophilus* laisse passer activement le lactose. Celui-ci est hydrolysé en glucose et en galactose à l'intérieur de la cellule par l'enzyme β -galactosidase. Le glucose est ensuite métabolisé par la voie d'Embden-Meyerhof-Parnas en pyruvate, qui est à son tour converti en acide lactique par la déshydrogénase lactique (**Zirnstein et Hutkins, 2000**).

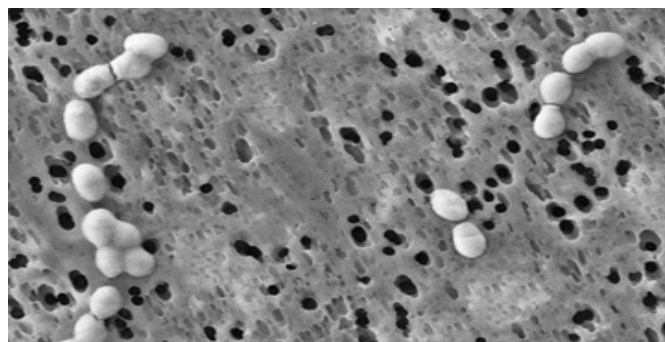


Figure 2. Morphologie du germe *Streptococcus thermophilus* au microscopie électronique à balayage (**Chandan & Kilara, 2013**)

7.1.2. *Lactobacillus bulgaricus*

Parmi les bactéries lactiques, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* constitue une importante espèce utilisée dans le domaine industriel des laits fermentés. Elle se présente sous forme de bacilles allongés, minces, groupés souvent en chaînettes (**Figure 3**), immobiles et asporulés. Elles se développent idéalement à une température de 42°C et présentent des exigences nutritionnelles très complexes notamment en acides aminés, vitamines et en acides gras (**Marty-Teyssset et al., 2000 ; Menad, 2018**). Cette bactérie peut fermenter le lactose ainsi que d'autres glucides dont le glucose et le fructose avec production de l'acide lactique comme principal produit de fermentation et des produits secondaires tels que l'acétaldéhyde, l'acétone, l'acétoïne et le diacétyle contribuant ainsi à la saveur particulière du produit (**Teixeira, 2014**).

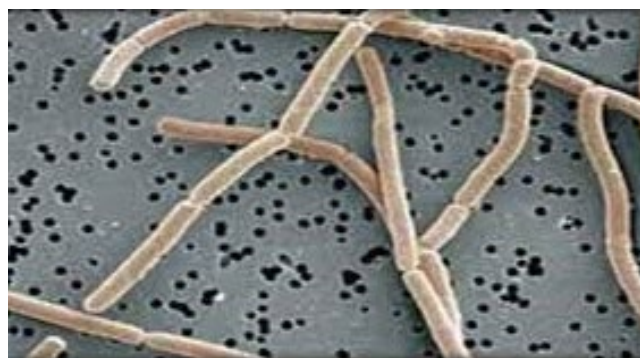


Figure 3. Vue au microscope électronique du germe *Lactobacillus* (**Menad, 2018**).

7.2. Propriétés des bactéries spécifiques du yaourt

7.2.1 Production d'acide lactique

Une des principales contributions des bactéries lactiques spécifiques du yaourt à la technologie laitière provient de leur aptitude à produire de l'acide lactique, étant donné que celui-ci sert à transformer le lait et à le conserver agissant à la fois comme un agent coagulant et antimicrobien (Schmidt et al., 1994). La teneur en lactate du yaourt est exprimée en degrés Dornic ($1^{\circ}\text{D} = 0.1\text{g/l}$ d'acide lactique), et se situe en général dans une fourchette variable de 100 à 130 $^{\circ}\text{D}$ (Loones, 1994). L'importance de l'acide lactique dans la production de yaourt peut être résumée comme suit :

- Contribution à la déstabilisation des micelles de caséine, entraînant la formation du gel.
- Offrir au yaourt sa saveur distincte et caractéristique (Singh et al., 2006).
- Intervient dans l'inhibition des micro-organismes nuisibles (Leory et al., 2002).

7.2.2. Activité protéolytique

Au cours de leur développement, les bactéries du yaourt dégradent les protéines composant le lait, notamment la caséine ainsi que les protéines sériques, pour couvrir leurs besoins en acides aminés. Deux types d'enzymes bien distincts interviennent dans leur système protéolytique : les protéases et les peptidases. Les protéases de *Lactobacillus bulgaricus* sont localisées principalement dans la paroi cellulaire et permettent la dégradation de la caséine par protéolyse en libérant des acides aminés et des peptides. Quant à l'espèce *Streptococcus thermophilus* considérée comme ayant une activité endopeptidasique limitée peut à son tour dégrader les polypeptides en acides aminés libres par une activité plutôt exopeptidasique (Marshall, 1987 ; Bianchi-Salvadori et al, 1995 ; Yamauchi et al., 2018).

7.2.3. Activité aromatique

Les arômes spécifiques du yaourt proviennent de la croissance successive des deux bactéries. La saveur typique du yaourt revient à son goût aigre résultant de l'accumulation d'acide lactique produit par *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* (Zourari et al., 1992) et à la présence d'acétaldéhyde, qui est le principal composant de la saveur du yaourt. Il est surtout produit par le germe *Lactobacillus bulgaricus* (Chaves et al., 2002) mais sa production se renforce en association avec *Streptococcus thermophilus* qui en produit en faible proportion. En outre, l'acétaldéhyde provient du pyruvate, soit par l'action de la pyruvate décarboxylase ou de la pyruvate déshydrogénase (également connue sous le nom de pyruvate formate lyase), ou encore de la thréonine via l'action de la thréonine aldolase (Chaves et al., 2002 ; Gezginc et al., 2015), présentes chez les deux bactéries spécifiques du yaourt (Gezginc, et al., 2015). En outre, *Streptococcus thermophilus* produit souvent à partir de l'acide citrique de l'acétone et du diacétyl qui contribuent à la finesse du goût (Zourari et al., 1992 ; Demarigny et al., 2021). Notons que la saveur particulière du yaourt, liée à la production de diacétyl et d'acétaldéhyde, est recherchée dans les produits "nature" et se trouve partiellement masquée dans les yaourts aromatisés (FAO, 1995 ; Mihoubi, 2019)

7.2.4. Activité texturante

Le yaourt doit sa texture aux cultures bactériennes (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) qui génèrent du lactate à partir du lactose du lait, abaissant le pH du milieu, entraînant l'agrégation des caséines à leur point isoélectrique ($\text{pH}_i = 4.6$) et la formation du gel qui donne au produit une structure visqueuse (Koutina et al., 2015). Les

bactéries lactiques sont également reconnues pour leur aptitude à synthétiser des exopolysaccharides (EPS), c'est-à-dire des polysaccharides se trouvant à l'extérieur de la paroi cellulaire, soit attachés à celle-ci sous forme de capsule, soit sécrétés dans l'environnement (**Sutherland, 1972**). Cette capacité des bactéries de culture du yaourt à produire des EPS présente un certain nombre d'avantages potentiels, tels que l'amélioration de la texture et de la sensation en bouche du produit final, ainsi que la prévention de la rupture du gel et de la formation de lactosérum (**Cerning, 1990 ; Rawson & Marshall, 1997**). Les EPS sont essentiellement composés de rhamnose, d'arabinose et de mannose (**Schmidt et al., 1994**) et leur production est généralement attribuée à l'action de *Streptococcus thermophilus*.

Cependant, *Lactobacillus bulgaricus* peut aussi produire des EPS composés de galactose, de glucose et de rhamnose dans des proportions de 4:1:1 (**Tamime & Robinsons, 2007**).

7.2.5. Activités probiotiques

On définit comme probiotiques les micro-organismes vivants dont l'administration en quantités adéquates confère un bénéfice pour la santé de l'hôte (**Perdigo et al., 2001 ; Guglielmotti et al., 2007**). Parmi ces probiotiques, *Lactobacillus bulgaricus* est considérée comme fonctionnellement essentielle pour l'homme en raison de ses effets favorables pour la santé, qui s'avère capable d'atténuer et de prévenir plusieurs maladies telles que le cancer du côlon, le diabète, l'intolérance au lactose (**Sanders et Klaenhammer, 2001**) et les maladies inflammatoires (**Shah, 2007 ; Di Cerbo et al., 2016 ; O'Callaghan & van Sinderen., 2016 ; Uriot et al., 2017**).

Par ailleurs, l'ingestion de *Streptococcus thermophilus* semble prévenir les infections des voies respiratoires (**Di Cerbo et al., 2016 ; Uriot et al., 2017**) et peut améliorer la fonction gastro-intestinale, en agissant notamment contre les maladies gastriques et les infections à *Helicobacter pylori* (**Teanpaisan & Pivat., 2014 ; Uriot et al., 2017**), ainsi que les diarrhées rotavirales chez les nourrissons avec soulagement des entérocrites nécrosantes (**Saavedra et al., 1994 ; Bin-Nun et al., 2005**).

Il est à souligner qu'un taux très faible estimé à environ 1% des bactéries starters du yaourt ingérées peut atteindre le duodénum en raison de leur sensibilité aux sels biliaires, (**Morelli, 2014**). Au cours de leur trajet gastro-intestinal elles peuvent réagir avec les composants alimentaires, les cellules épithéliales et immunitaires et le microbiote intestinal tout en ayant des effets bénéfiques à la santé de l'hôte (**Derrien & Van Hylekama Vlieg, 2015**). Néanmoins, la survivance des deux bactéries du yaourt n'est pas toujours indispensable pour avoir une incidence positive en termes de santé. Leur effet facilitant la digestion du lactose est un exemple d'activité probiotique n'impliquant pas ces bactéries dans leur état vivant, mais plutôt l'enzyme (la lactase) qu'elles secrètent et qui facilite l'absorption intestinale du lactose (**Gómez-Gallego et al., 2018**).

7.3. Comportement associatif des deux souches

Les cultures starter du yaourt, *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* vivent en symbiose, en se stimulant mutuellement (**Rahman et al., 2016**). Cette relation entre ces deux bactéries lactiques, écologiquement appelée protocoopération, se caractérise notamment par l'échange de métabolites entre elles (**Tamime & Death, 1980 ; Undugoda & Nilmini, 2019, Yamauchi, et al., 2023**). Au cours de la fermentation, les deux bactéries inoculées simultanément dans le lait se prolifèrent successivement, de sorte que la fermentation est

d'abord déclenchée par *Streptococcus thermophilus*, dont la croissance est favorisée par le pH neutre du lait (Tamime & Robinson 1999, Siewerts et al., 2016 ; Rul, 2017). Elles consomment l'oxygène et utilisent les acides aminés libres présents dans le lait comme facteurs de croissance et produisent de l'acide formique, de l'acide folique et du lactate ce qui en résulte la réduction du pH du lait entraînant un ralentissement de leur croissance par acidification du lait.

Le germe *Lactobacillus bulgaricus*, plus tolérant aux acides, reçoit du CO₂, de l'acide formique et de l'acide folique comme facteurs de croissance fournis par *Streptococcus thermophilus*. Ce qui lui permet d'achever la fermentation tout en dégradant les caséines du lait grâce à des protéases de surface, fournissant ainsi des acides aminés assimilables par *Streptococcus thermophilus* et favorisant la croissance de ce dernier (Yamauchi et al., 2019 ; Undugoda et Nilmini, 2019).

En outre, des exopolysaccharides sont produit par les deux espèces bactériennes au cours de leur développement ce qui renforce d'avantage leur relation symbiotique (Arioli et al., 2017).

La protocoopération dans les cultures mixtes présente un intérêt à la fois technologique et organoleptique entraînant l'accélération de la prolifération des deux bactéries bénéfiques du yaourt et par conséquent l'accélération de l'acidification du lait, l'accentuation de la protéolyse, amélioration de la production d'exopolysaccharides et d'aromes (particulièrement de l'acétaldéhyde) ainsi que l'atténuation du phénomène de la synérèse ce qui confère au yaourt une meilleure stabilité du gel (Corrieu and Beal, 2016 ; Sarkar, 2019).

7.4. Facteurs influençant le métabolisme des bactéries starters du yaourt

La croissance et les activités métaboliques des bactéries lactiques dont celles spécifiques au yaourt peuvent être considérablement affectées par les différents facteurs physiques, chimiques et microbiologiques.

7.4.1. Facteurs physiques

- **Température** : C'est le premier facteur environnemental à prendre en compte pour le développement des bactéries lactiques car il affecte la rapidité des réactions chimiques et biochimiques. En général, la température devrait se situer autour de 30°C pour les bactéries mésophiles et de 42°C pour les espèces thermophiles (Beal & Sodini, 2003). Cependant la température optimale pour les deux souches est d'environ 45°C (Courtin & Monnet, 2002). Cette température doit être maintenue au cours de la phase de fermentation de fabrication du yaourt.
- **Activité de l'eau (aw)** : Elle est liée à la présence de sels ou de sucres dans les produits et sa diminution entraîne une baisse de la quantité d'eau libre, et donc une réduction de la disponibilité des nutriments. Pour les laits fermentés, c'est la présence de saccharose (dans le cas des yaourts sucrés) qui induit la réduction de l'activité de l'eau (Tamime & Robinson, 1985).

7.4.2. Facteurs chimiques

- **Qualité du lait** : Elle constitue un facteur clé dans le développement des ferments lactiques. Elle comprend notamment la teneur initiale en lactose, en minéraux, ainsi que la fraction azotée libre (acides aminés et oligopeptides). La limitation de certaines molécules peut entraver la croissance bactérienne (Mihoubi, 2019).
- **Traitement thermique** : Le traitement thermique du lait réalisé avant sa mise en fermentation agit positivement sur le métabolisme des bactéries starters du yaourt. Il permet

non seulement l'élimination des micro-organismes nuisibles et pathogènes (**Boudier, 1990**), mais conduit également à la destruction des substances antibactériennes naturellement existantes dans le lait (lactopéroxydases, agglutinines), ce qui est favorable à la croissance des bactéries lactiques (**Farkye et Imafidon, 1995**). En outre, la thermisation du lait hydrolyse partiellement les caséines libérant d'avantage d'acides aminés nécessaire à la croissance des *Streptococcus thermophilus* (**Ardö, 2021**).

➤ **pH** : Le pH est un facteur chimique déterminant pour la croissance des bactéries lactiques. Il influe à la fois la disponibilité des nutriments et la perméabilité membranaire des cellules bactériennes, ainsi que la vitesse des activités enzymatiques ce qui fait que la maîtrise du pH est impérative lors de la production de yaourt, car il constitue un facteur majeur de ralentissement du métabolisme bactérien (**Beal & Sodini, 2003**).

7.4.3. Facteurs microbiologiques

➤ **Taux d'ensemencement** : Le taux d'ensemencement du lait a une influence majeure sur son processus de transformation. Le processus de fermentation est d'autant plus rapide que le taux de bactéries de départ est élevé. En règle générale, ce taux se situe autour de 10^6 UFC/ml, ce qui permet non seulement d'accélérer la production, mais aussi de maîtriser le coût des ferments lactiques. En inoculation directe, le taux d'inoculation, selon l'espèce bactérienne considérée, varie entre 2.5 g et 70 g de ferment pour 100 litres de lait (**Beal & Helinck, 2019 ; Mihoubi, 2019**).

➤ **Equilibre entre les populations des bactéries de départ** : Cet équilibre intervient dans la cinétique microbienne au cours de la fabrication du yaourt. La durée de fermentation dépend surtout du rapport initialement adopté entre *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, bien que les streptocoques soient toujours majoritaires à la fin de la culture. Pour le yaourt, le rapport streptocoques/lactobacilles habituellement recommandé varie entre 1:1 et 1:2 (**Dan et al., 2023**), mais il peut dépend fortement des autres souches lactiques présentes dans le milieu (**Beal & Corrieu, 1991**).

8. Physico-chimie de la gélification du yaourt

Les modifications physico-chimiques résultant de la fermentation du lait sont à l'origine de la gélification du lait permettant d'obtenir la texture souhaitée du produit final. Les principales structures impliquées dans la gélification acide du lait sont les micelles de caséines.

8.1. Organisation micellaires des caséines du lait

Les caséines représentent 80 % de la matière azotée totale du lait et on en distingue plusieurs types : α_{S1} , α_{S2} , β et k . Elles se présentent sous forme de particules sphériques appelées micelles, dont le diamètre moyen est de 150 nm. Elles sont maintenues en suspension dans le lait frais mais reliées entre elles par des ponts phospho-calciques. La micelle de caséine comprend un cœur hydrophobe constitué exclusivement de caséines α_S et β , liées l'une à l'autre par des ponts salins de phosphate de calcium, des liaisons hydrophobes et des liaisons électrostatiques. Elle est entourée d'une enveloppe périphérique hydrophile composée principalement de caséines k et α_S , ainsi que quelques monomères de caséine β formant une couche poilue chargée négativement, ce qui permet de maintenir les micelles en suspension, à l'écart les unes des autres (**Béal & Helinck, 2019**).

8.2. Gélification acide

La fermentation du lait par des bactéries initiateuses du yaourt génère du lactate qui s'accumule au niveau extracellulaire, ce qui abaisse le pH du lait et induit des changements profonds des micelles de caséine dont la charge ionique (superficielle) diminue progressivement en s'approchant de leur point isoélectrique (pH 4.6), atténuant ainsi les répulsions électrostatiques entre les groupements chargés (Karam et al., 2013). Les processus chimiques liés à la formation des gels lactiques acides sont abordés pour trois niveaux de pH comme suit :

pH de 6.7 à 6.0 : Le phosphate de calcium contenu dans les micelles commence à se dissoudre progressivement lorsque le pH du lait passe de 6.6 à 6.0, et la charge négative des micelles diminue, ce qui affaiblit la répulsion électrostatique entre elles sans pour autant qu'elles perdent leur forme et leur intégrité (Lee & Lucey, 2010).

pH 6.0 à 5.0 : À partir d'un pH ≤ 6.0 , le taux de solubilisation du phosphate de calcium micellaire augmente, et celui-ci est complètement dissous à un pH d'environ 5.0. Il en résulte l'augmentation à la fois de la taille et de l'hydratation des micelles, ainsi que la solubilisation partielle des caséines qui les composent. Le début de la formation du gel peut être observé dès que le pH atteint une valeur de 5.5, en raison de l'affaiblissement des liaisons hydrophobes entre les protéines sériques dénaturées (Béal & Helinck, 2019).

pH ≤ 5.0 : Lorsque le pH du lait s'approche du point isoélectrique des caséines (pH 4.6), la charge négative de celles-ci diminue, ce qui réduit la répulsion électrostatique entre elles. En revanche, les attractions caséine-caséine augmentent en raison du renforcement des interactions hydrophobes et de la charge plus ou moins électrostatique (Horne, 1998). Ce processus d'acidification aboutit donc à la formation d'un réseau (Lee & Lucey, 2010 ; Karam et al., 2013) (Figure 4).

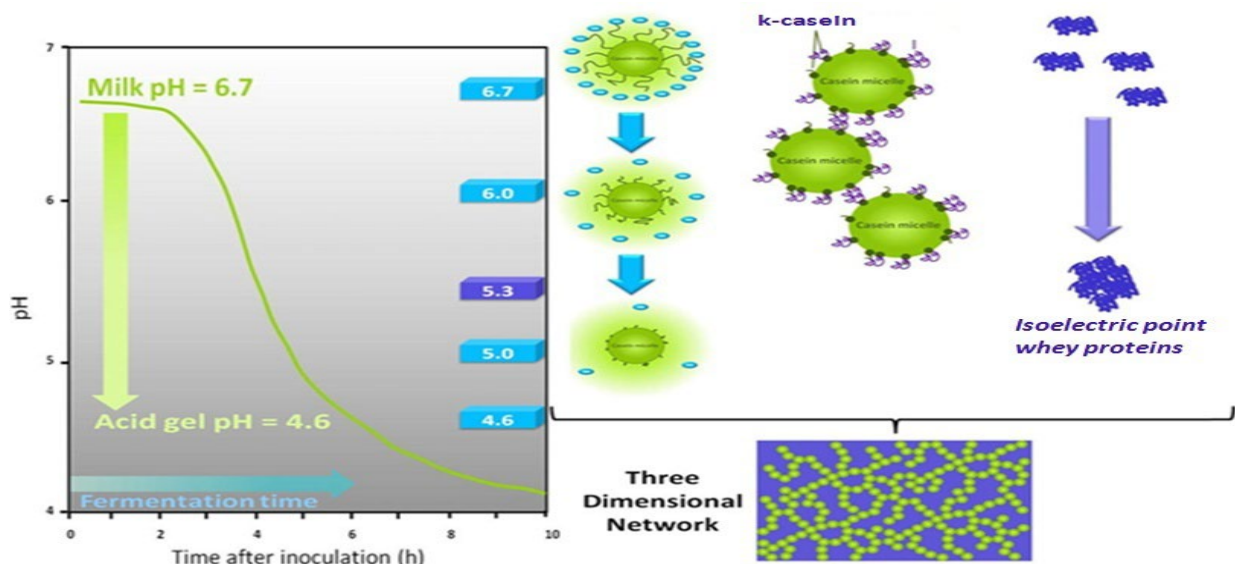


Figure 4. Formation du gel lactique au cours de la fermentation du yaourt (Karam et al., 2013).

8.3. Effet du chauffage du lait sur la texture du yaourt

Dans la fabrication du yaourt, le traitement thermique du mélange, composé du lait et des constituants ajoutés jouent un rôle essentiel dans l'élaboration de la texture du yaourt. En

effet, un traitement thermique vigoureux entraîne une précipitation des protéines sériques à la surface des micelles de caséine, conduisant à la formation d'un complexe avec les caséines (κ -caséine). Un tel complexe protéique se précipite à un pH de 5.2 élevé comparativement au pH de précipitation des caséines natives (pH 4.6). La formation du gel devient alors plus rapide et le réseau qui s'y forme est plus dense grâce à un nombre plus important de sites de liaison possibles. Cette densité du réseau se traduit par un gel plus ferme et moins poreux, et par conséquent plus résistant à la synérèse que celui obtenu avec un mélange de lait modérément thermisé (Emmanouelidou et al., 2008 ; Lesme, 2019).

8.4. Effet des exopolysaccharides (EPS) sur la texture du yaourt

Au cours du processus d'acidification, les bactéries starters du yaourt libèrent des exopolysaccharides dans le milieu lacté, renforçant le réseau de gel, sa complexité et sa force de cisaillement, augmentant ainsi la viscosité du produit obtenu (Ramos et al., 2023). Les EPS exercent un effet épaississant grâce à leur interaction avec les protéines du lait et permet de renforcer davantage l'hydratation de ceux-ci et par conséquent réduire la synérèse et améliorer la viscosité et la texture du produit (Caggianiello et al., 2016 ; Ramos et al., 2023).

Les EPS contribuent aussi à limiter la déstructuration du gel lors des traitements mécaniques et thermiques auxquels le produit est soumis avant son conditionnement (Béal & Helinck, 2019), d'où l'utilité de les considérer en industrie laitière comme agent stabilisant, épaississant et émulsifiant (Mende et al., 2016).

En outre, les EPS favorisent la rétention de l'eau et de la matière grasse offrant au produit un meilleur aspect lisse et crémeux (Han et al., 2016 ; Ramos et al., 2023).

9. Composés aromatiques et facteurs influençant la saveur du yaourt

L'arôme et le goût du yaourt et de bien d'autres produits laitiers peuvent varier en fonction du type de microorganisme inoculé, du contenu du lait en matière grasse ainsi qu'en solide non gras, du processus de fermentation adopté et de la température utilisée (Lesme, 2019).

9.1. Composés aromatiques

9.1.1. Arômes endogènes du yaourt

La composition aromatique naturelle du yaourt provient de la combinaison de composés volatils présents dans le lait avant la fabrication et des produits issus des réactions métaboliques des bactéries de démarrage (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*), ainsi que des produits générés par d'autres mécanismes réactionnels. De plus, les cultures de démarrage du yaourt produisent l'acide lactique, considéré comme l'un des principaux composés impliqués dans la saveur du yaourt et confère à celui-ci son goût acidulé typique (Beshkova et al., 1998, Routray & Mishra, 2011).

Le nombre de composés aromatiques identifiés dans le yaourt dépasse les 90 (Ott et al. 1997; Lubbers et al. 2004), dont certains sont des composés aromatiques clés et caractéristiques de la saveur du yaourt. Ce sont essentiellement des acides volatils (butyrate et acétate) ou non volatils (lactate et pyruvate), des composés carbonylés tels que l'acétaldéhyde, le diacétyle et l'acétoïne (Béal & Sodini, 2003 ; Serra et al., 2009).

L'acétaldéhyde qui est un composé carbonyle, ayant une légère odeur fruitée, est présent dans le yaourt à des teneurs variables entre 5 et 40 mg/kg. Il est considéré comme étant l'arôme

typique du yaourt et le composé aromatique majeur synthétisé par les bactéries starters du yaourt principalement à partir du pyruvate et dans une moindre mesure à partir de la thréonine, (Béal & Sodini, 2003). La forte concentration en acétaldéhyde est supposée provenir du faible usage de ce composé par les bactéries du yaourt, dépourvues de l'enzyme alcool déshydrogénase responsable de la conversion de l'acétaldéhyde en éthanol (Chaves et al., 2002). D'autres composants quantitativement importants du yaourt sont : l'acétoïne (20.3 mg/kg), l'acétone (0.6 mg/kg), l'éthanol (0.5 mg/kg-) et le diacétyl (0.32 mg/kg) (Degorce-Duma et al., 1986).

L'acétoïne et le diacétyl sont générés principalement par l'espèce *Streptococcus thermophilus* à partir du citrate grâce à l'enzyme α -acétolactate. (Béal & Sodini, 2003). De nombreux autres composés interviennent dans le développement de l'arôme du produit final, parmi lesquels la 2, 3-pentanedione, la 2, 3-butanedione, le benzaldéhyde et le sulfure de diméthyle (Imhof et al., 1994) ainsi que six composés aux odeurs intenses dont ; 1 octen-3-one, 1-nonen-3-one, méthional, 2 methyltetrahydrothiophen-3-one, (2E)- nonenal et le guaiacol (Ott et al., 1997 ; Routray & Mishra, 2011) (Figure 5).

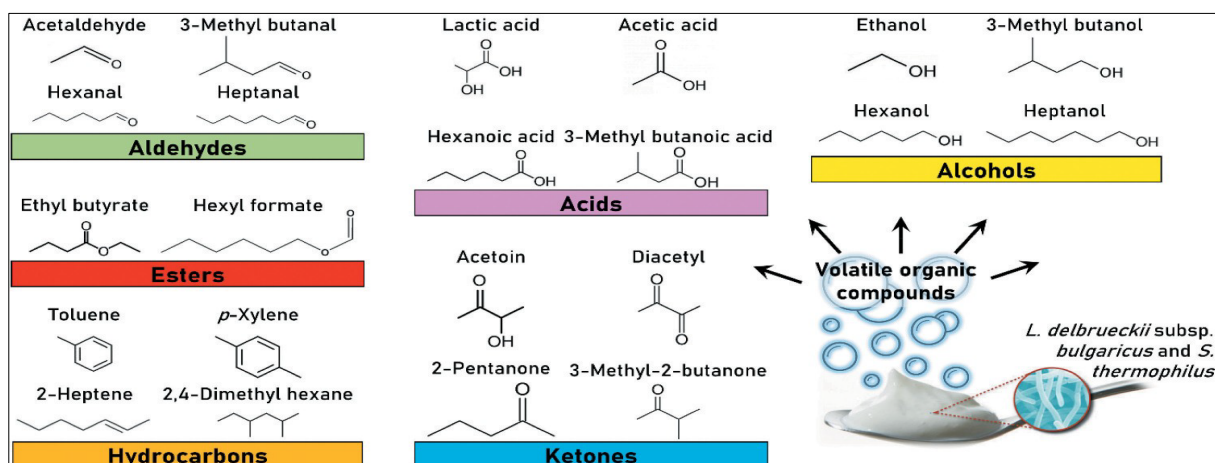


Figure 5. Classes chimiques des composés volatils produits par les bactéries spécifiques du yaourt (Farag et al., 2022).

9.1.2. Arômes exogènes du yaourt

Les arômes endogènes et l'équilibre aromatique des yaourts résultent d'interactions synergiques entre *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*. Ils dépendent également des souches bactériennes inoculées. Ainsi, la sélection des souches bactériennes appropriées permet de produire des yaourts doux (Routray & Mishra, 2011), pouvant être ensuite aromatisés avec une gamme étendue d'arômes supplémentaires de complexité plus ou moins marquée (Chandan & Kilara, 2013). Cette aromatisation du yaourt est souvent appréciée par les consommateurs, et offre un large choix de yaourts aromatisés sur le marché. Des arômes de vanille et de fruits comme la fraise, le citron et la framboise sont parmi les plus populaires et les plus répandues. La formulation de ces arômes implique l'utilisation de molécules aromatiques, dont la plupart sont communes aux divers arômes et dont la combinaison harmonieuse permet d'obtenir un arôme final équilibré (Lesme, 2019).

9.2. Facteurs influençant la saveur du yaourt

Le yaourt étant issu d'un processus complexe de transformation du lait, ses propriétés aromatiques sont influencées par les paramètres de transformation, les additifs utilisés, ainsi

que d'autres facteurs biologiques et non biologiques (Soukoulis et al., 2007 ; Routray & Mishra, 2011).

9.2.1. Effet des facteurs biologiques

Le type de ferments utilisés dans la fabrication du yaourt constitue un facteur essentiel dans la formation des composés aromatiques. Toutefois, bien que les deux bactéries soient capables de produire de l'acétaldéhyde, certains chercheurs ont montré que *Lactobacillus bulgaricus* est principalement le plus responsable de la production de ce composé dans les cultures de démarrage mixtes (Ott et al. 1997).

Par ailleurs, la saveur du yaourt est souvent améliorée en incorporant des souches appartenant aux genres *Leuconostoc* et *Lactococcus* comme cultures auxiliaires, qui peuvent métaboliser le citrate pour produire des composés diacétylés et de l'acétoïne (Passerini et al., 2013). Le diacétyl, l'acide acétique et l'éthanol sont principalement associés aux *Leuconostoc*, et le diacétyl ainsi que l'acétoïne sont des métabolites aromatiques produits par *Lactococcus lactis*. Les souches les plus utilisées sont *Lactococcus diacetylactis* et *Leuconostoc citrovorum*, en raison de leur grande capacité à métaboliser le citrate (Boumerdassi et al., 1997).

En outre, l'incorporation de probiotiques dans le yaourt a également montré un impact sur l'arôme du yaourt. Il s'agit principalement de souches appartenant aux genres *Bifidobacterium* et *Lactobacillus* dont : *Lactobacillus rhamnosus* qui contribue à la génération d'acides organiques volatils et d'alcools pendant la fermentation, ainsi qu'à la formation d'acides organiques non volatils pendant le stockage réfrigéré (Settachaimongkon et al., 2015) ; *Lactobacillus acidophilus* qui produit principalement de l'acide acétique et de l'acétaldéhyde (Østlie et al., 2005) ; et *Lactobacillus pentosus* qui produit l'éthanol, du 2,3-butanedione et de l'acide acétique (Pan et al., 2014). Quant aux bifidobactéries, elles convertissent le lactose en acide acétique et en acide lactique dans un rapport de 3:2 (Oliveira, et al., 2018); ce qui explique que les produits finis obtenus avec des bifidobactéries aient souvent une saveur caractéristique.

De plus, l'usage de laits provenant de différentes sources donne lieu après fermentation à des yaourts de saveurs et de consistances variées. Le lait de brebis, par exemple, est riche en protéines, dont particulièrement les micelles de caséine, ce qui est susceptible d'augmenter l'acidité du yaourt et d'améliorer la fermeté, ainsi que la viscosité pouvant prévenir le phénomène de synérèse (Frag et al., 2022).

9.2.2. Effet des procédés technologiques

La transformation du yaourt s'appuie sur des techniques de traitement (thermisation, refroidissement, pasteurisation et homogénéisation) qui constituent des étapes importantes, mais dont certaines ont un impact plus ou moins marquant sur l'arôme du produit. Nous citons dans ce qui suit des exemples de ces techniques influençant l'arôme du yaourt.

- **Traitement mécanique** : Ce traitement appliqué notamment lors de la fabrication du yaourt brassé favorise la libération de l'arôme en augmentant sa perception en bouche (Souchon et al., 2006). Cette libération d'arôme est liée particulièrement à la réduction de la viscosité du yaourt induite par un traitement mécanique intense auquel est soumis le caillé (Lubbers & Butler, 2010 ; Lesme et al., 2020).

- **Traitement thermique :** Le traitement par la chaleur du lait destiné à la production du yaourt sert principalement à éliminer les bactéries pathogènes et à réduire le nombre d'autres micro-organismes, mais aussi inhibe les enzymes du lait, dont la lipase responsable de la lipolyse du lait (**Routray&Mishra, 2011**).

Par ailleurs, les produits de dégradation produits par des réactions chimiques pendant le chauffage du lait pourraient jouer un rôle important dans la saveur du yaourt (**Scanlan et al., 1968 ; Labropoulos et al.,1982**). Les lactones qui sont des constituants normaux de la matière grasse et pouvant aussi être produits par le chauffage du lait au cours de la fabrication du yaourt (**Scanlan et al., 1968 ; Labropoulos et al., 1982**), ainsi que les cétones, par exemple le méthyl-cétones (**Langler et Day , 1964**) et le diacétyl (**Langler et Day , 1964**) sont des exemples d'arômes du yaourt favorisé par le chauffage. Selon **Labropoulos et al (1982)**, un traitement thermique de 82°C pendant 10 minutes en cuve est suffisant pour obtenir un yaourt de bonne saveur tout en étant de consistance satisfaisante.

- **Traitement à ultra-haute pression :** L'homogénéisation à ultra-haute pression réalisée à 200 ou 300 MPa à 30 °C ou à 40 °C est une technique innovante utilisée surtout lors de l'enrichissement avec des ingrédients laitiers secs visant à améliorer la fermeté du yaourt et à atténuer le phénomène de synérèse (**Serra et al., 2009**). Selon **Jankowska et al. (2008)** soumettre le lait à des pressions élevées de 100 à 300 MPa peut provoquer de légères modifications de la saveur du yaourt ; alors que des pressions plus hautes de 400 à 1000 MPa entraînent des modifications négatives très perceptibles chez les consommateurs.

9.2.3. Effet des agents texturants

La littérature scientifique rapporte que la perception olfactive des produits peut être altérée par la présence d'agents texturants en raison de l'établissement de liaisons chimiques covalentes ou de faible énergie (hydrophobes) entre les agents texturants et les composés aromatiques. Dans ce contexte, **Hansen et Heinis (1992)** ont rapporté une diminution de l'intensité de la perception des aldéhydes (benzaldéhyde et vanilline) dans une solution de protéines de lactosérum. De plus, plusieurs auteurs ont pu mettre en évidence la présence de liaisons chimiques entre les caséines et les aldéhydes, ce qui entraîne une diminution de l'intensité de ces arômes (**Kim & Min, 1989 ; Fischer et Widder, 1997**).

Néanmoins, les composés apolaires (hydrophobes) restent mieux retenus par les matrices épaissies que les composés polaires, qui sont alors libérés contrairement aux composés apolaires comme l'éthylbenzène, le styrène, le sulfure d'éthyle (**Schirle-Keller et al., 1992**), l'hexanal et l'hexanone (**Franzen & Kinsella, 1974**) qui sont moins volatils lorsqu'ils sont mis en solution avec des agents épaississants comme la carboxy-méthylcellulose (un gel synthétique) ou la gomme de guar.

9.2.4. Effet de variation des paramètres de stockage

Les concentrations des composés aromatiques dont acétaldéhyde, éthanol et diacétyl changent remarquablement en fonction de la durée et de la température de stockage (**Vahčić & Hruškar, 2000**). Il est bien établi que l'acétaldéhyde et le propionaldéhyde diminuent au cours du stockage par l'action hydrolytique de la déshydrogénase de *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* qui reste active au cours de l'entreposage même au froid positif (**Bills et Day, 1966**).

9.2.5. Effet des différents saveurs ajoutés

Divers arômes de fruits sont utilisés depuis longtemps en vue d'améliorer la qualité gustative du yaourt. Des effets sensoriels favorables sont obtenus par l'ajout au yaourt de fruits aromatisants tels que la pulpe de pomme (**Ghadge et autres (2008)**), la fraise, la poudre de cerise (**Kim et al., 2009**), l'arôme de pêche (**Santana et autres 2006**), et bien d'autres encore.

De plus, des interactions physico-chimiques avec la pectine et le saccharose semblent augmenter légèrement la rétention et la sensation des composés aromatiques (**Saint-Eve et al., 2008**).

Cependant, certains composants incorporés dans le yaourt peuvent dominer la saveur souhaitée et donner un goût différent, tout en modifiant l'acceptabilité globale du produit. Par exemple la présence dans le yaourt des édulcorants tels que le sirop de maïs à haute teneur en fructose supprime la libération de certains des composants de l'arôme de la fraise (notamment du butanoate d'éthyle, du (Z)-hex-3-enol, et du 3-méthylbutanoate d'éthyle) (**Mei et al., 2004**).

10. Propriétés nutritive, prophylactiques et thérapeutiques du yaourt

En plus de sa valeur nutritionnelle et sa qualité d'aliment probiotique, le yaourt est considéré comme un aliment fonctionnel grâce à ses multiples effets bénéfiques à la santé qui découlent essentiellement de sa composition biochimique intéressante (**Tableau 3**) renfermant notamment des vitamines, des acides gras indispensables, ainsi que des peptides et des protéines fonctionnelles à effets prophylactique et thérapeutique bien reconnus (**Wajs et al., 2023**).

Tableau 3. Contenu du yaourt nature en principaux nutriments (**Hadjimbei et al., 2022**).

Nutriment		Contenu dans 100g	Contenu dans un pot (245g)
Eau (g)		87.90	215.35
Protéines(g)		3.47	8.50
Lipides totaux (g)		3.25	7.96
Hydrocarbures(g)		4.66	11.42
Vitamines :	Vitamine B2 (mg)	0.142	0.348
	Vitamine B12(µg)	0.37	0.91
	Vitamine A (UI)	99	243
	Vitamine D (UI)	02	5
Minéraux :	Calcium(mg)	121	296
	Potassium (mg)	155	380
	Phosphore(mg)	95	233
	Magnésium (mg)	12	29
	Zinc (mg)	0.59	1.45
Energie (Kcal)		61	149

10.1. Source de vitamines et minéraux

Le yaourt constitue une source excellente de minéraux indispensables à l'organisme humain tels que les (calcium, potassium, phosphore, magnésium, et sodium) et peut aussi contenir le fer et le sélénium (**Mckinley, 2005 ; Gómez-Gallego et al., 2018**). D'après **Hadjimbei et al., 2022**, l'ingestion d'une portion de 245g de yaourt peut couvrir environ 40% des apports nutritionnels de référence en calcium, 10% potassium et 10% en phosphore. Le calcium, dont

l'absorption intestinale est favorisée par le pH acide du yaourt (**Gómez-Gallego et al., 2018**) est indispensable pour le maintien de la santé dentaire et osseuse tout au long de la vie de l'individu, et intervient aussi dans le transport transmembranaire, la neurotransmission au niveau des jonctions synaptiques, dans la régulation des contraction musculaires et intervient aussi comme cofacteurs dans plusieurs réactions enzymatiques telles que conversion de la prothrombine en thrombine (**Cormick & Belizán, 2019 ; Hadjimbei et al., 2022**). Le potassium est impliqué dans le transport osmotique, contribue au maintien de l'équilibre des électrolytes et des fluides cellulaires ainsi que la régulation de la pression artérielle (**Meyer et al., 2010**). Le phosphore intervient dans la composition des phospholipides. Il intervient aussi sous sa forme de phosphates dans la structure d'ADN, ARN et ATP (principale forme d'énergie cellulaire) en formant des liaisons phosphate au sein de ces molécules. De plus, sa combinaison avec des ions calcium pour former l'hydroxyapatite, molécule inorganique protège les dents contre les acide et l'hypersensibilité (**Limeback et al., 2023**).

Par ailleurs, à l'instar des autres produits laitiers, le yaourt est riche en vitamines liposolubles dont notamment, les vitamines A, D et E, impliquées dans le développement et le maintien des cellules de l'organisme, dans la vision, ainsi que dans les fonctions immunitaires, et renferme aussi des vitamines hydrosolubles telles que la vitamine B2 (riboflavine) qui joue un rôle important dans le métabolisme des lipides, glucides et acides aminés, et la vitamine B12 (cobalamine) dont le rôle dans les activités métaboliques et la synthèse de l'ADN a été rapporté par (**Hadjimbei et al., 2022**), ainsi que la vitamine B3 (niacine) impliquée dans la production d'acides gras et la réparation de l'ADN endommagé et le bon fonctionnement des systèmes nerveux et digestif (**Mikkelsen & Apostolopoulos ; 2019**).

Il est à signaler que l'activité fermentaire des bactéries de culture du yaourt entraîne une augmentation du contenu du yaourt en vitamine B9 (folate) et en d'autres vitamines du groupe B (**Gómez-Gallego et al., 2018**).

10.2. Source d'acides gras

Plusieurs acides gras indispensables sont fournis par le yaourt, appartenant aux groupes des oméga 6 tels que l'acide linoléique et oméga 3 dont l'acide alpha linoléique (**Hadjimbei et al., 2022**), dont la consommation est lié à un moindre risque de développement de cancer, de maladie coronarienne et d'infarctus aigu du myocarde (**Lin et al., 2018**). Il est aussi un précurseur de synthèse des acides gras polyinsaturés n-3 (AGPI n-3) tels que l'EPA (acide cis-5, 8, 11, 14, 17-eicosapentaenoïque, C20:5n3) et DHA (acide cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-docosahexaenoïque, C22:6n3) qui sont aussi reconnus pour leurs effets positifs sur le système cardiovasculaire (**Fleming et Kris-Etherton, 2014 ; Lin et al., 2018**).

10.3. Source de peptides bioactives

Les peptides bioactifs sont des fragments protéiques susceptibles d'agir positivement sur certaines fonctions biologiques de l'organisme humain tout en contribuant à promouvoir la santé de l'individu (**Kitts and Weiler, 2003**). Leur activité est liée à la libération de leurs séquences protéiniques mères résultant d'une digestion enzymatique dans le tractus gastro-intestinal, d'un processus de fermentation, ou encore d'une mutation survenant au cours du procédé de transformation des aliments. Dans le cas du yaourt ils résultent essentiellement de la protéolyse des caséines par l'action fermentaires des cultures starters (**Mirzapour-Kouhdasht & Garcia-Vaquero, 2022**). Selon leur composition en acides aminés

et l'enchaînement de ces derniers, les peptides bioactifs du yaourt sont à l'origine de plusieurs effets prophylactiques et thérapeutiques et agissent via divers mécanismes comme:

- **Effet anti hypertenseur:** en agissant par l'inhibition de l'enzyme de conversion de l'angiotensine I qui est un facteur intermédiaire important dans la régulation du contrôle de l'hypertension artérielle et dont l'inhibition est lié à un effet anti-hypertensif ou par stimulation de la bradykinine à activité vasodilatatrice (Maes et al., 2004 ; Mirzapour-Kouhdasht & Garcia-Vaquero, 2022).
- **Effets antioxydants :** les peptides bioactifs peuvent exercer leurs effets antioxydants par piégeage des radicaux libres, selon plusieurs mécanismes, tels que l'inhibition de la peroxydation lipidique ou en intervenant en tant que chélateurs des ions métalliques ou comme donneur d'électrons (Moure et al., 2006; Qian et al., 2008; Rajapakse et al., 2005). Ils peuvent aussi convertir la cystéine en glutathion qui est un puissant antioxydant intracellulaire (Marshall, 2004).
- **Effets antidiabétique :** consiste à la régulation de la glycémie en agissant sur les cellules pancréatiques sécrétoires de l'insuline par divers mécanismes telles que la dépolarisations de la membrane (Newsholme et al., 2010), ou par inhibition des enzymes α -glucosidase et α -amylase impliquées dans la régulation de la glycémie (Lacroix & Li-Chan, 2014).
- **Effet immunomodulateur :** par régulation de la production de cytokines ou par stimulations de la phagocytose des macrophages (Matar et al., 2003). Certains peptides sont impliqués dans l'amélioration de l'immunité des muqueuses au niveau du tractus gastro-intestinal ainsi que dans l'atténuation des réactions allergiques (Korhonen & Pihlanto, 2003).
- **Effet liant les minéraux :** certains peptides bioactifs tels que les peptides phosphorylés présentent des sites permettant de fixer certains minéraux (tels que Ca, Fe et Zn) et de les transporter vers les cellules cibles, contribuant ainsi à une meilleure biodisponibilité alimentaire pouvant promouvoir la santé de l'individu (Clare & Swaisgood, 2000).

10.4. Autres bienfaits à la santé

En plus du rôle des peptides bioactives du yaourt dans l'amélioration de la santé des consommateurs du yaourt, ce produit laitier fermenté a été considéré comme favorable à la santé humaine grâce à son contenu en probiotiques permettant l'inhibition des allergies, la stimulation des réponses immunitaires ainsi que le renforcement de la lutte contre les microorganismes nuisibles à l'organisme (Bustamante et al., 2020), dont ceux impliqués dans les infections du système respiratoire tel que le virus de la grippe A (H1N1) (Gouda et al., 2021). D'après Makino et coll. (2006) le lait fermenté avec *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* est utile dans la prévention du rhume chez l'homme.

De plus, l'utilisation d'aliments fermentés tels que le yaourt comme sources de probiotiques permet la prévention de l'infection par le SRAS-CoV-2 ou au moins de soulager les complications induites (Olaimat et al., 2020). Les probiotiques apportés par les yaourts sont également reconnus pour leurs aptitudes à réguler l'écosystème microbien intestinal (Dargahi et al., 2019).

Par ailleurs, de nombreuses recherches médicales et nutritionnelles ont démontré l'effet bénéfique à la santé lié à la consommation du yaourt notamment chez des sujets atteints de certaines maladies dites "maladies de civilisation" telles que l'obésité, les maladies neurodégénératives ou le cancer (Soltani et al., 2017 ; Wajs et al., 2023). Les propriétés anti-

cancérigènes des bactéries lactiques des laits fermentés, y compris le yaourt, ont été démontrées remarquablement dans une étude menée par **De Moreno, 2014**. Ces bactéries lactiques peuvent agir par l'inhibition ou l'élimination des bactéries et/ ou enzymes bactériennes responsables de la production des métabolites cancérogènes (**Chandan et al., 2017**), ou encore par le rétablissement de la perméabilité intestinale permettant de retarder l'absorption des toxines (**Chandan et al., 2017**). Des métabolites produites au cours de la fermentation du lait peuvent aussi agir contre la cancérogénèse, dont notamment les peptides bioactives (**Elfahri et al., 2016**).

La littérature a aussi rapporté l'efficacité du yaourt dans le traitement des diarrhées aiguës chez les nourrissons (**Pashapour & Iou, 2006**), dans le soulagement des symptômes du colon irritable ainsi que ceux liés à la constipation chez les adultes tels que l'obstruction ano-rectale (**Liu et al., 2015**). Une consommation journalière du yaourt favorise également la perte de poids (**Geng et al., 2018**) et contribue au contrôle de l'appétit par stimulation de la sécrétion d'hormones gastro-intestinales (**Morell & Fiszman, 2017**).

Parmi tous les produits laitiers le yaourt constitue aussi un aliment idéal pour les individus souffrant d'intolérance au lactose en raison de son faible contenu en lactose et de la présence des bactéries lactiques qui faciliteraient la digestion (**Saleem et al., 2024**).

11. Aspects de renforcement des aptitudes alimentaires des yaourts

Le yaourt est un produit alimentaire dont la consommation permet d'apporter à l'organisme des nutriments à la fois essentiels et bénéfiques. Il constitue une source excellente de calcium et de protéines de haute qualité. Toutefois, comme pour tous les autres produits laitiers, il est très pauvre en certains minéraux dont le fer (**Blanc, 1981 ; Routray & Mishra, 2011**). Il est aussi déficient en certains éléments importants sensés promouvoir la santé humaine, tels que les composés phénoliques (**Raikos et al., 2018**). Cela a incité de nombreux chercheurs à orienter leurs efforts vers l'enrichissement du yaourt en divers nutriments essentiels afin d'atténuer ses insuffisances nutritionnelles (**Gahruie et al., 2015**).

11.1. Enrichissement en minéraux

Les carences en minéraux, dont le calcium, le fer et le zinc, causées par une faible consommation ou une mauvaise absorption ont été associées à toute une série de problèmes de santé humaine, notamment la fragilité des os, les anomalies du système immunitaire et les retards de croissance chez les enfants (**Sazawal et al., 2013**). Étant donné que le yaourt, comme tous les produits laitiers, est pauvre en fer et en Zinc, plusieurs recherches ont été menées visant son enrichissement en ces deux éléments (**Santillán-Urquiza et al., 2017**). En effet, le yaourt enrichi en fer peut fournir trois dixièmes de la consommation quotidienne du fer nécessaire (**Sazawal et al. 2013**). Cependant, l'incorporation du Zinc et du Fer dans le yaourt présente certains inconvénients résultant du déclenchement de réactions chimiques entre ces minéraux et les composants du produit enrichi entraînant par voie de conséquence des modifications importantes dans les propriétés rhéologiques, physico-chimiques et gustatives du produit, telles que la synérèse et l'apparition de saveurs désagréables (**Routray & Mishra, 2011**). La nanoencapsulation (**Darwish et al., 2021**), l'encapsulation dans des liposomes (**Xu et al. 2014**) et la microencapsulation (**Nkhata et al., 2015**) ont été utilisées pour remédier à ces problèmes souvent rencontrés dans le yaourt. Ces techniques semblent utiles non seulement pour prévenir les altérations des propriétés sensorielles des aliments

enrichis, mais aussi pour empêcher l'oxydation, en particulier du fer, améliorant ainsi leur biodisponibilité et leur absorption intestinale (**Zimmermann, 2004 ; Jayalalitha et al., 2022**).

La supplémentation en calcium des yaourts a également été réalisée, afin de mieux répondre aux besoins des personnes présentant un risque de maladies liées à la carence en ce minéral, ce qui a permis de leur fournir un apport suffisant pour couvrir leurs besoins en cet élément en 1 ou 2 portions même si ces personnes ne consomment pas de grandes quantités d'autres produits laitiers (**Routray & Mishra, 2011**). L'incorporation du calcium sous forme micronisée (réduit en poudre très fine dont les particules sont mesurées en microns) a été également proposée en vue de pallier aux effets négatifs liés aux concentrations élevées de minéraux sur les propriétés sensorielles du produit en permettant une meilleure dispersion des particules ultrafines, ce qui permet d'améliorer la sensation en bouche, l'acceptation et la texture du produit (**Ocak & Rajendram, 2013 ; Gahruie et al., 2015**). D'autres minéraux ont été éventuellement inclus dans le yaourt tels le manganèse et le magnésium (**Cueva et Aryana, 2008**).

11.2. Enrichissement en vitamines

Les yaourts comme d'autres produits laitiers fermentés peuvent être considérés comme des sources de vitamines, qui sont des composés qui agissent comme cofacteurs dans l'organisme (**Gahruie et al., 2015**). Cependant, leur contenu en vitamine D reste généralement faible, et insuffisant pour couvrir les besoins quotidiens (**Gasparri et al., 2019**). La carence en vitamine D est directement liée à un risque accru de cancer, de fractures ostéoporotiques, de maladies auto-immunes, du diabète de type I, d'hypertension et de la sclérose en plaques (**Gahruie et al., 2015**). A cet effet, la supplémentation du yaourt en cette vitamine s'avère constituer un choix judicieux pour la fabrication de yaourts fonctionnels qui conviennent bien aux personnes âgées ou ayant des difficultés de mastication, ainsi qu'aux personnes intolérantes au lactose tout en ayant une durée de vie relativement longue (**Gasparri et al., 2019**). La consommation du yaourt enrichi en vitamine D a montré plusieurs effets bénéfiques à la santé dont l'amélioration du taux de glycémie et des indices anthropométriques (**Mostafai et al., 2018**), de la composition lipidique et des bio marqueurs endothéliaux chez les individus atteints du diabète de type 2 (**Shab-Bidar et al., 2011**).

Par ailleurs, d'autres vitamines ont aussi été additionnées au yaourt dont les vitamines A et C (**Ilic et Ashoor, 1988**), les vitamines B12 (**Karlin, 1961**), B₁ (thiamine), B₂ (riboflavine), B₃ (niacine), et B₉ (acide folique) (**Cueva et Aryana, 2008**).

11.3. Enrichissement en oméga-3

Les oméga 3 constituent un groupe d'acides gras polyinsaturés indispensables à la santé humaine mais dont l'organisme ne peut pas synthétiser et devrait donc être fournis par l'alimentation d'où l'intérêt de les incorporer dans la fabrication de nouveaux produits laitiers (**Bakry et al., 2019**) tels les yaourts à boire, les boissons lactées, le lait frais et le lait traité UHT (**Shahidi et Ambigaipalan, 2016**).

Néanmoins, l'enrichissement du yaourt par des acides gras polyinsaturés présente plusieurs inconvénients tels que l'insolubilité des acides gras polyinsaturés dans les solutions aqueuses et leur vulnérabilité aux altérations oxydatives ayant pour conséquences une légère détérioration de la valeurs nutritionnelles et gustatives du produit fini par développement de

mauvais goûts (**Jacobsen et al., 2001**). Dans l'objectif de palier à ces problèmes de nombreux chercheurs se sont orientés vers la micro-encapsulation des huiles destinées à être incorporer dans le yaourt, dont nous citons des exemples tels que le yaourt supplémenté en huiles végétales mélangées avec de l'amidon (**Dal Bello et al., 2015**), le yaourt à la fraise et à l'huile de saumon encapsulée avec de la gomme arabique et de la maltodextrine (**Estrada et al., 2011**), le yaourt additionné d'huile de poisson encapsulée dans des liposome (**Ghorbanzade et al., 2017**), et le yaourt à la menthe enrichis avec de l'huile de thon encapsulée par la technique de spray-drying (**Bakry et al., 2019**).

11.4. Enrichissement en peptides bioactifs

Les peptides bioactifs sont des segments de protéines constitués de 2 à 20 acides aminés avec un poids moléculaires de moins de 6000 Da. Ils proviennent de l'hydrolyse enzymatique des protéines ou générés au cours de la digestion intestinale des aliments (**Hernández-Ledesma et al., 2014**). Ce sont des molécules biologiquement actives ayant un impact positif sur la santé tout en exerçant des effets antioxydants (**Qian et al., 2008**), anti hypertenseur (**Garcia-Vaquero, 2022**), antidiabétique (**Lacroix & Li-Chan, 2014**), immunomodulateur (**Korhonen&Pihlanto, 2003**) et anti-inflammatoire (**Hernández-Ledesma et al., 2014**).

Bien que le yaourt renferme des peptides bioactifs, le renforcement de son contenu en ces molécules a été rapporté par de nombreux auteurs (**Wajs et al., 2023**). En effet, il est bien établi que l'enrichissement du yaourt par des peptides bioactifs obtenu par l'hydrolyse de la gélatine du poisson permet d'améliorer sensiblement les propriétés inhibitrices de l'ECA (enzyme de conversion de l'angiotensine) et le potentiel antioxydant du produit fini sans exercer d'effet significatif sur les caractéristiques physicochimiques (**Ayati et al., 2022**).

11.5. Enrichissement en fibres alimentaires

Une alimentation riche en fibres favorise la santé humaine en contribuant notamment à la réduction du risque du développement de plusieurs maladies, telles les troubles gastro-intestinaux (**Elia & Cummings, 2007**), l'obésité, l'hypertension, l'hypercholestérolémie (**Van Dam & Seidell, 2007**), le diabète (**Anderson et al., 2004**) et le cancer (**Bingham, et al., 2003**). La consommation de fibres alimentaires a également montré un impact positif sur la santé du tube digestif en améliorant le microbiote intestinal, en soulageant la constipation et en réduisant l'incidence du cancer du côlon (**Farnworth, 2008**).

L'importance des fibres alimentaires et leur carence dans les produits laitiers dont notamment le yaourt ont incité les chercheurs à les enrichir de diverses sources végétales ayant ainsi induit des effets variables sur la qualité des produits finis (**Abou-Zeid, 2016**). En effet, il a été démontré que les fibres alimentaires insolubles provenant du maïs et du riz (céréales), de la betterave à sucre (légume) et des graines de soja (légumineuses) accélèrent le processus d'acidification des yaourts expérimentaux, entraînant une augmentation de la viscosité apparente pour la majorité d'entre eux et engendre une légère détérioration de la saveur ainsi que de la texture globales du produit (**Fernandez-Garcia & McGregor, 1997 ; Abou-Zeid, 2016**).

Un yaourt de qualité acceptable a été aussi obtenu en intégrant des fibres de dattes (fruit) dans une proportion maximale de 3% (**Hashim et al., 2009**). Il a été également bien démontré que l'ajout de fibres solubles d'igname (un tubercule constituant la base de la cuisine Africaine) à

un yaourt brassé a amélioré remarquablement sa viscosité apparente, réduit la synérèse, et a généré une sensation en bouche plus agréable (Ramirez-Santiago et al., 2010).

11.6. Enrichissement aux fruits et légumes

Les fruits et les légumes sous toutes leurs formes (frais, séchés, jus, purée, poudre et extrait) ainsi que leurs résidus constituent des sources excellentes d'enrichissement des produits laitiers, grâce à leur saveur, odeur, couleur, et leur teneur en fibres, vitamines et composés phénoliques offrant ainsi aux industriels la possibilité d'améliorer les propriétés bénéfiques pour la santé de leurs produits alimentaires transformés, le yaourt en particulier (Satorabi et al., 2021 ; Salehi, 2021). En effet, la pulpe de citrouille (Barakat& Hassan, 2017) et de la fraise (Lesme et al., 2020), le jus de carotte (Sarker et al., 2022) et l'extrait de patate douce (Hariadi et al., 2023) incorporés dans le yaourt peuvent conférer au produit de meilleures caractéristiques nutritionnelles et fonctionnelles, notamment en terme d'activité antioxydante et des teneurs en composés phénoliques ainsi qu' en vitamines.

En outre, plusieurs fruits et légumes et leurs sous-produits, notamment introduits sous forme de poudre, comme la poudre de citrouille (Johari et al., 2022) ainsi que les poudres d'écorce et de marc d'ananas (Sah et al., 2016) et d'écorce de citron (Rahman et al., 2024), en plus de leurs propriétés fonctionnelles antioxydants remarquables, sont considérés comme des stabilisants potentiels du yaourt de par leur capacité à lier l'eau, à former des gels et à épaissir le produit fini (Salehi, 2021). Les sous-produits tels que le marc de pomme (Issar et al., 2017; Wang et al., 2019) et les sous-produits du fruit de la passion (Espírito-Santo et al., 2013) sont également des exemples qui ont démontré leurs effets positifs dans l'amélioration de la texture et l'atténuation de la synérèse des yaourts.

11.7. Enrichissement aux plantes médicinales et aromatiques

Différentes parties (feuilles, tiges, racines, fleurs et graines) des plantes médicinales et aromatiques présentant de multiples propriétés (antioxydantes, aromatisantes, antimicrobiennes ...etc.) ont fait l'objet de nombreuses recherches visant à étudier l'impact de leur composés bioactifs en tant qu'aditifs naturels incorporés sous forme de poudre ou d'extrait de plantes sur l'amélioration de la qualité physicochimique, microbiologique, organoleptique, du potentiel antioxydant et de la durée de conservation des yaourts et d'autres produits laitiers fermentés. (Tableau 4).

Tableau 4. Impact d'ajout d'extraits de quelques plantes médicinales sur le renforcement de la qualité des yaourts.

Espèces et parties de Plantes	Type d'extrait selon le solvant d'extraction utilisé	Type de yaourt	Taux d'extrait testés(%)	Période et température de stockage	Résultats obtenus	Sources
Feuilles de basilic (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	Extraits aqueux	Yaourt étuvé	0% et 10% (v/v)	28 jours à 4°C	Par comparaison au témoin l'addition d'extraits des plantes a induit : -Une amélioration de l'activité antioxydante du yaourt. -Une amélioration de l'activité métabolique des bactéries starters. -Une augmentation de la teneur en composés phénoliques des produits. - Une amélioration de l'activité anti-ACE-I dans les produits.	Amirdivani & Baba (2011)
Feuilles de d'aneth (<i>Anethum graveolens</i> L.)						
Feuilles de menthe poivrée (<i>Mentha piperita</i> L.)						

Feuilles de menthe poivrée (<i>Mentha piperita</i> L.)	Extrait aqueux	Yaourt étuvé	0% et 1% (v/v).	28 jours à 4°C	-Une diminution de l'acidité. -Une augmentations du pH. -Texture, saveur, couleur et odeur acceptables.	Al-Shawi (2020)
Feuilles de Menthe pouliot (<i>Mentha pulegium</i> L.)	Extrait hydroéthanolique micro-encapsulé	Yaourt étuvé	0 ppm ; 750 ppm et 1000 ppm	15 jours à 4°C	-Une augmentation de l'activité antioxydante, de la viscosité et de l'acidité du yaourt avec l'augmentation proportionnelle de la dose d'extrait incorporée. -Une diminution du pH et de la Synérèse du yaourt selon l'élévation de la dose d'extrait incorporée. -Une amélioration de la viabilité des bactéries probiotiques dans les yaourts à l'extrait de <i>Mentha pulegium</i> L. -Une qualité sensorielle des yaourts expérimentaux qualifiée d'acceptable par les panélistes par comparaison au témoin.	Moghadam et al. (2021)
Feuilles de menthe poivrée (<i>Mentha piperita</i> L.)	Extrait Hydroéthanolique	Yaourt étuvé.	0% ; 2% ; 4% et 6% (v/v).	21 jours à 4°C	-Une diminution en fonction des doses incorporées du nombre des bactéries de culture du yaourt, de la viscosité et de l'acidité. -Une augmentation du pH en fonction de l'augmentation de la dose d'extrait. -Un effet non significatif sur le goût, couleur, odeur et fraîcheur.	Ait Chabane et al. (2021)
Deux type de thé vert (<i>Camellia sinensis</i>) récoltés au Japon et en Malysie	Extrait aqueux (infusion)	Yaourt étuvé	0% et 10% . (v/v)	6 heures de fermentation	-Une amélioration de l'activité antioxydante des yaourts à l'extrait aqueux de thé vert au cours de la fermentation. -Une stimulation de la croissance des cultures starters durant les 6 heures de fermentation.	Amirdivani & Baba (2015)
Feuilles de thé vert, blanc et noir (<i>Camellia sinensis</i>)	Extraits aqueux (infusion) lyophilisés	Yaourt étuvé	0% et 10% (p/v).	21 jours à 4°C	-Une amélioration des activités antioxydantes. -Une réduction remarquable de la survie particulière des <i>S. thermophilus</i> du yaourt au cours de la conservation.	Muniandy et al. (2016)
Poudre de thé vert (<i>Camellia sinensis</i>)	Extrait aqueux (infusion)	Yaourt brassé	0%; 0.01%; 0.02%; 1% et 2% (v/v).	21 jours à 4°C	L'ajout d'extrait a engendré : - Une diminution du pH du yaourt. - Une atténuation de la synérèse. - Une dégradation non significative de la couleur.	Dönmez et al. (2017)
Poudre de café	Extrait aqueux (infusion)	Yaourt brassé	0% ; 1% et 2% (v/v).			
Feuilles de thé doux chinois (<i>Rubus suavissimus</i> S. Lee)	Extrait aqueux (décoction) lyophilisé	Yaourt étuvé	0% ; 0.25% ; 0.5% et 1% (p/p).	24 heures à 4°C	L'ajout d'extrait notamment à de fortes doses de 0.5 et 1% a enregistré par rapport au témoin : -Une amélioration des activités antioxydantes et hypotensives. -Une amélioration de la croissance des cultures du yaourt. -Une augmentation des scores d'acceptabilité sensorielle.	Abdel-Hamid et al. (2020)

Feuilles d'olivier	Extrait aqueux (commercialisé)	Yaourt étuvé	0% ; 0.1% ; 0.2 % et 0.4% (v/v).	15 jours à 4°C	L'augmentation de la dose d'extrait dans le yaourt a occasionné : -Une amélioration de l'activité antioxydante. -Une diminution de la capacité de rétention d'eau. -Un Effet non significatif sur la viscosité.	Peker & Arslan (2016)
Feuilles d'olivier	Extrait aqueux (infusion) lyophilisé	Yaourt étuvé	0% ; 0.1% ; 0.2% et 0.4% (p/v).	15 jours à 4°C	- Une amélioration de l'activité antioxydante et du contenu en polyphénols du yaourt en fonction des doses d'extrait. -Une augmentation de la viscosité et atténuation de la synérèse du produit avec l'ajout d'extrait de feuilles d'olivier.	Cho et al. (2020a)
Ginseng (<i>Panax ginseng</i>)	Extrait rouge de Ginseng (commercialisé)	Yaourt étuvé	0% ; 0.5% ; 1% ;1.5% et 2% (p/v).	31 jours à 4°C	-Une amélioration de l'activité antioxydante, du contenu en protéines, en lactose et en matière sèche totale ainsi que l'acidité titrable en fonction des doses d'extrait incorporées. -Un effet non significatif d'ajout d'extrait de Ginseng sur les paramètres sensoriels du yaourt. -Une diminution du nombre de <i>Lactobacillus acidophilus</i> et <i>Streptococcus thermophilus</i> avec l'ajout d'extrait de Ginseng.	Jung et al. (2016)
Feuilles de thym (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	Extrait hydrométhano-lique	Yaourt étuvé	0% ; 2% ; 4% ; 6% et 8% (v/v).	21 jours à 4°C	- Une diminution selon la dose du nombre des bactéries de culture du yaourt, de la viscosité et de l'acidité. -Une augmentation selon la dose du pH du yaourt. - Une altération de la qualité sensorielle au-delà d'une concentration de 4% d'extrait.	Khelifi et al. (2018)
Feuilles d'Origan (<i>Origanum vulgare</i> L.)	Extrait aqueux	Yaourt étuvé	0% ; 0.25% ; 0.5% ; 0.75% et 1.0% (v/v).	28 jours à 4°C	-Une amélioration de l'activité antioxydante. -Une amélioration des propriétés physicochimiques et rhéologiques présentant de meilleurs résultats pour la dose de 1% d'extrait.	Dabija et al. (2018)
Feuilles de Moringa (<i>Moringa Oleifera</i>)	Extrait aqueux lyophilisé (infusion)	Yaourt étuvé écrémé.	0% ; 0.05% ; 0.1% et 0.2% (p/v).	21 jours à 4°C.	En fonction des doses incorporées il a été remarqué : -Une amélioration de l'activité antioxydante et de la croissance des cultures du yaourt. -Une réduction de la synérèse et amélioration -Un effet non significatif sur la qualité sensorielle à de faible dose de 0.05%.	Zhang et al. (2019a)

Feuilles de la stevia (<i>Stevia ebaudiana</i>)	Extrait aqueux lyophilisé	Yaourt brassé.	0% ; 0.25 % et 0.5% (p/v).	30 jours à 4°C	-Une amélioration du contenu en composés phénoliques totaux selon les doses d'extrait incorporées. -Une amélioration de l'activité antioxydante en fonction des doses d'extrait incorporées. -Un effet non significatif de l'extrait sur le taux de la matière sèche, la synérèse, pH et acidité titrable. -Un effet non significatif de l'extrait sur la croissance des cultures starters.	De Carvalho et al. (2019)
Graines de chia (<i>Salvia hispanica</i>)	Poudre	Yaourt brassé	0% ; 6% ; 10 % et 14% (p/p).	35 jours à 5°C	-Une altération des propriétés sensorielles des yaourts aux graines de chia. -Un effet non significatif d'ajout de graines de chia en poudre sur la viabilité des bactéries lactiques.	Kowaleski et al. (2020)
Racine de Chicorée (<i>Cichorium intybus</i> L.)	Inuline lyophilisée extraite des racines	Yaourt étuvé	0% ; 0.5% ; 1% et 2% (p/v).	14 jours à 4°C	-Une amélioration de la texture, de la microstructure et de la qualité sensorielle du yaourt additionné de 1% d'inuline.-Un effet prébiotique démontré de l'extrait avec amélioration de la viabilité des probiotiques (<i>S. thermophilus</i> , <i>L. bulgaricus</i> , <i>L. acidophilus</i> et <i>B.bifidu</i>) au cours du stockage.	El-Kholy et al. (2020)
Feuilles de Coriandre (<i>Coriandrum sativum</i> L.)	Extrait méthanolique lyophilisé	Doogh ou ayran une (boisson turque à base de yaourt)	0% ; 0.1 % et 0.25% (p/v).	21 jours à 4°C	-Une amélioration de l'activité antioxydante avec l'augmentation de la concentration d'extrait incorporée. -Une amélioration de la viabilité des cultures probiotiques des produits supplémentés d'extrait de coriandre. -Une atténuation de la peroxydation lipidique dans les produits additionnés d'extrait de coriandre notamment à une forte dose de 0.25%.	Shariati et al. (2020)
Feuilles de Marjolaine (<i>Origanum majorana</i>) et de Sauge (<i>Salvia officinalis</i>)	Extraits aqueux lyophilisés	Yaourt étuvé	0% ; 1% ; 2% et 3% (p/p).	21 jours à 5°C	-Une amélioration proportionnelle de l'activité antioxydante selon l'augmentation des proportions d'extraits des plantes utilisées. -Une diminution du taux des protéines avec l'ajout d'extraits testés. -Une diminution de la viabilité des <i>S.thermophilus</i> et <i>L.bulgaricus</i> dans les yaourts supplémentés d'extraits des plantes testées.	Hasneen et al. (2020)
Feuilles d'argel (<i>Solenostemma argel</i> Hayne).	Extrait hydroéthanolique lyophilisé	Yaourt étuvé	0% ; 0.1% et 0.2 % (g/100ml)	21 jours à 4°C	-Une amélioration de l'activité antioxydante selon l'augmentation de la dose d'extrait ajoutée. -Atténuation de la peroxydation lipidique selon la dose d'extrait. -Une augmentation de l'acidité selon la dose d'extrait ajoutée. -Une amélioration selon l'élévation des doses d'extrait incorporées dans le yaourt de la viabilité des bactéries de culture, de la viscosité, de la capacité de rétention d'eau, du contenu en composés phénoliques totaux et des propriétés sensorielles.	Mohamed Ahmed et al. (2021)

Epillets de palmier dattier (<i>Phoenix dactylifera</i> L.)	Extrait hydroéthanolique lyophilisé	Yaourt étuvé	0% ; 0.5% et 1.0% (p/v).	21 jours à 4°C	-Une diminution de la viscosité des yaourts avec l'augmentation de la dose d'extrait. -Une stabilisation du gel du yaourt à l'extrait de la plante. -Un maintien de la viabilité des bactéries de culture des yaourts supplémentés d'extrait d'epillets de palmier dattier.	Almusallam et al. (2021a)
Epillets de palmier dattier (<i>Phoenix dactylifera</i> L.)	Extrait hydroéthanolique lyophilisé	Yaourt étuvé	0% ; 0.5% et 1.0% (p/v).	21 jours à 4°C	-Une amélioration de l'activité antioxydante avec l'augmentation de la dose d'extrait. -Une atténuation de la peroxydation lipidique selon l'augmentation de la dose d'extrait.. -Une amélioration des taux de matière sèche et de protéines, avec l'augmentation de la dose d'extrait. -Une préservation de la qualité physicochimique et sensorielle des yaourts à l'extrait de la plante au cours du stockage.	Almusallam et al. (2021b)
Feilles de Romarin (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	Extrait aqueux lyophilisé	Yaourt étuvé	0 ; 1.5 ; 2.0 ; 2.5 et 3.0% (p/v)	14 jours à 5°C	-Une réduction de la croissance des <i>S.thermophilus</i> et <i>L.bulgaricus</i> en fonction des taux d'extrait incorporés dans le yaourt. -Préservation générale de la qualité physicochimique et sensorielle des yaourts renforcés d'extrait de romarin. -Effet non significatif d'ajout d'extrait de romarin sur le pH et l'acidité des produits. -Amélioration de la texture, et de l'apparence du yaourt.	Ali et al. (2021)
Clous de girofle (<i>Syzygium aromaticum</i>) et racine de Curcuma (<i>Curcuma longa</i>)	Extrait aqueux	Yaourt étuvé	0 et 4% (v/v)	/	-Une amélioration de l'activité antioxydante. -Une amélioration du contenu phénolique et protéique. -L'nhibition de la peroxydation lipidique.	Ogunyemi et al. (2021)
Poivre noir et blanc (<i>Piper nigrum</i> L.)	Extraits aqueux lyophilisés	Yaourt étuvé	0 et 0.1 g/ml	21 jours à 4°C	-Une amélioration de l'activité antioxydante, du contenu en phénols totaux et de lactate. -Une amélioration de l'activité protéolytique par l'ajout d'extrait du poivre noir. -Une meilleure acceptabilité par les panélistes des yaourts enrichis par rapport au yaourt nature.	Shori (2022)
Poivre vert (<i>Capsicum annuum</i> L.)	Extrait méthanolique	Yaourt brassé	0 ; 100 ; 200 et 300 ppm.	21 jours à 4°C	-Une amélioration proportionnelle de l'activité antioxydante et du contenu en composés phénoliques en fonction de l'augmentation de la concentration en extrait dans le yaourt. -Une augmentation par rapport au témoin des valeurs de l'acidité et de la viscosité dans les yaourts supplémentés d'extrait de poivre vert. -Une diminution des valeurs du pH dans les produits poivrés. -Une meilleure qualité sensorielle pour une dose de 200 ppm de poivre vert.	Kovsari et al. (2024)

Pépins de raisin	Extrait alcoolique lyophilisé	Yaourt brassé (au lait du buffle)	0% ; 0.1% ; 1.25% et 0.5 % (p/p).	12 jours à 4°C	<p>-Une amélioration des activités antioxydantes, anti-cancers et antibactériennes des yaourts additionnés d'extrait de pépins de raisin.</p> <p>- Une diminution du pH des yaourts en fonction des doses d'extrait de pépins de raisin ajoutées.</p> <p>-Une augmentation de la synérèse, de la viscosité et de la matière sèche totale selon les doses d'extrait de pépins de raisin ajoutées.</p> <p>-Une dégradation de la texture, odeur et saveur des yaourts à l'extrait de pépins de raisin.</p>	Tami et al. (2022)
Racine du Gingembre (<i>Zingiber officinalis Roscoe</i>)	Poudre	Yaourt étuvé	0 ; 0.5 ; 1 ; et 2% (p/p)	14 jours à 4°C	<p>-Une amélioration du contenu phénolique et protéique par ajout de poudre de Gingembre.</p> <p>-Une augmentation des valeurs de l'acidité titrable, et de la capacité de rétention d'eau en fonction de la quantité de Gingembre ajoutée.</p> <p>-Une réduction du nombre des bactéries de culture dans les yaourts additionnés de Gingembre.</p> <p>-Une dégradation des propriétés sensorielles telles que la couleur dans les produits supplémentés de Gingembre.</p>	Aamir et al. (2023)

Chapitre II

Mentha piperita L. :
Plante médicinale aromatique
à vertus thérapeutiques extraordinaires

Chapitre II. *Mentha piperita* L : Plante médicinale aromatique à vertus thérapeutiques extraordinaires

1. Préambule

Les menthes sont des plantes herbacées présentant une collection de plus de 60 espèces appartenant à la famille des Lamiacées, originaires du bassin méditerranéen et répandues dans le monde entier (Wei et al., 2023). Elles sont principalement cultivées pour leurs huiles essentielles ou utilisées comme agents aromatiques en raison des composants volatils qu'elles renferment dont principalement le menthol, la menthone, l'acétate de menthyle et le menthofurane (Beigi et al., 2018). Elles sont aussi utilisées comme ingrédients des boissons et plantes de pâturage pour les abeilles, comme elles peuvent être intéressantes comme plantes ornementales (Salehi et al., 2018 ; Ćavar et al., 2021).

En outre, les extraits et les huiles essentielles de menthe présentent un large spectre d'activités bénéfiques pour la santé et de multiples effets curatifs vis-à-vis de nombreuses maladies chez l'homme liés surtout à son contenu considérable en composés bioactifs de grandes valeurs pharmaceutiques (Elansari et al., 2020). Ceci a incité de nombreux chercheurs à mener de nombreuses études approfondies sur les différentes espèces de menthes depuis leur morphologie et leur chimie jusqu'à démontré leur large éventail d'activités biologiques et d'utilisations dans différents domaines de l'industrie alimentaire et pharmaceutique. Le genre *Mentha*, notamment l'espèce *Mentha piperita* L., est toujours au centre de l'attention des scientifiques du monde entier. La (Figure 6) présente un aperçu bibliographique sur les travaux de recherche portant sur les espèces du genre *Mentha*, réalisés au cours des vingt dernières années.

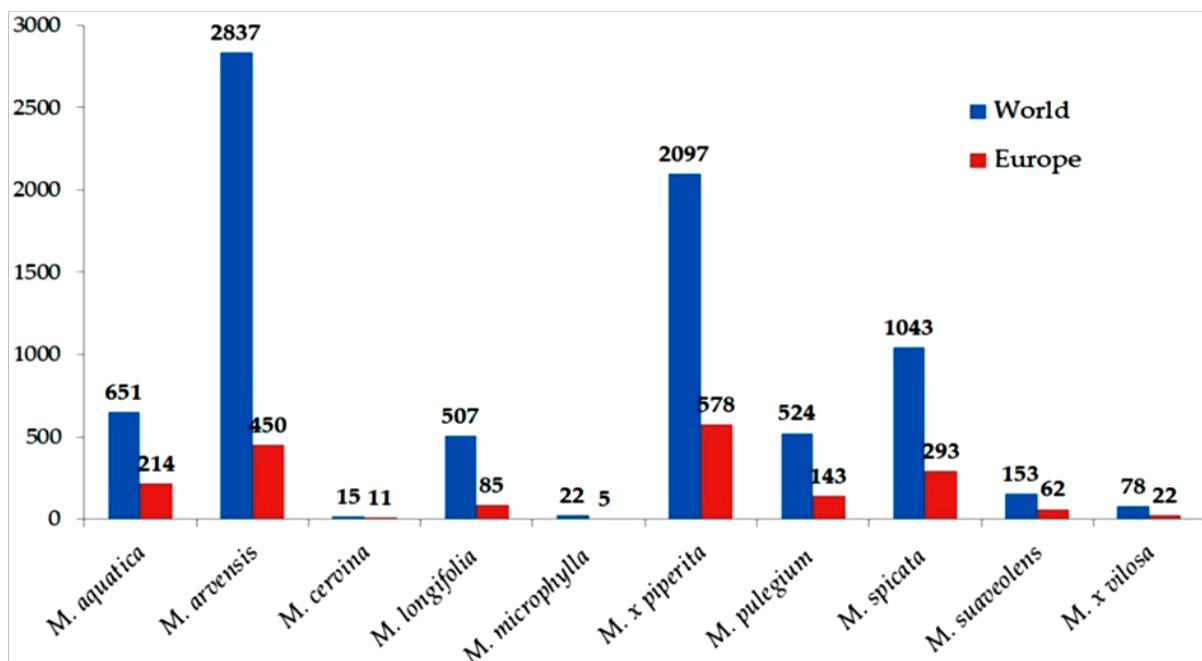


Figure 6. Nombre d'études de recherche consacrées aux espèces de *Mentha* et publiées au cours des vingt dernières années (Ćavar et al., 2021).

2. Origine

La plus ancienne trace de *Mentha piperita* L. remonte au moins à 1000 ans avant Jésus-Christ lorsque des archéologues ont trouvé des feuilles et des fleurs séchées à l'intérieur des pyramides égyptiennes. Elle servait à la conservation des momies chez les Égyptiens et était également utilisée pour lutter contre les nausées (Logan et al., 2002). Plutarque, les Grecs et les Romains l'ont utilisée pour parfumer leurs boissons et leurs sauces, ainsi que pour soulager les maux de tête et les maux d'estomac (Bowen et Cubbin, 1992).

Bien que reconnue et décrite pour la première fois en 1696 dans la région londonienne de Mitcham, d'où son second nom "menthe anglaise", la menthe poivrée n'est devenue populaire en Europe occidentale qu'au 18^{ème} siècle (Camele et al., 2021). Désormais, elle est cultivée dans de nombreuses autres régions du monde tels que les États-Unis, le Canada, l'Asie et l'Afrique du Nord et (Hudz et al., 2023). En Algérie, cette espèce végétale, est retrouvée à l'état sauvage dans le parc d'El-Kkala et cultivée sous palmeraies à Ouargla (Benabdallah, 2017).

3. Description botanique et taxonomique

Mentha piperita L. est l'hybride issu du croisement de *Mentha aquatica* L. et de *Mentha spicata* L. Ses fleurs produisent des graines stériles, ce qui rend sa multiplication impossible, elle se propage végétativement par des stolons et c'est une plante vivace, mesurant de 50 à 90 cm de hauteur (Singh et al., 2015). Ses tiges sont ramifiées, souvent violacées avec une section quadrangulaire (Bruneton, 2009 ; Singh et al., 2015 ; Camele et al., 2021), porteuses de feuilles courtes, ovales, dentées, mesurant de 4 à 10 cm de long, de couleur verte foncée, rougeâtres au soleil et rouge cuivré à l'ombre, couvertes de grands poils sécrétoires arrondis dans lesquels s'accumulent des odoriférants volatiles (Bruneton, 2009 ; Singh et al., 2015). (Figure 7).

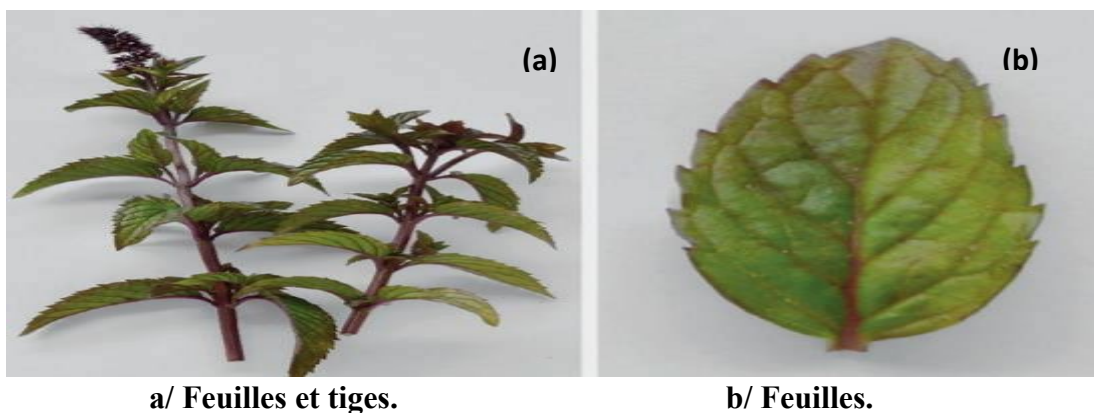


Figure 7. Feuilles et tiges de *Mentha piperita* L. (Mühlbauer & Müller, 2020)

L'espèce est souvent plantée dans des zones partiellement ensoleillées ou ombragées entre la dernière semaine de décembre et la dernière semaine de janvier. Deux récoltes par an peuvent être effectuées: la première en juin (après 100-120 jours de croissance) et la seconde en octobre (environ 80-90 jours après la première récolte) par temps très ensoleillé étant donné que le contenu en certains composés bioactifs, dont le menthol, diminue par temps nuageux et/ou pluvieux (Rita & Animesh, 2011).

Des positions systématiques pour *Mentha piperita* ont été proposées dans le monde entier, dont celle rapportée par **Bachman (2016)**, présentée ci-dessous :

- Règne : Plantae
 - Division : Angiospermophyta
 - Classe : Magnoliopsida (Dicotylédones)
 - Ordre: Lamiales
 - Famille: Lamiaceae (famille de la menthe)
 - Genre : *Mentha*
 - Espèce: *Mentha x piperita*

4. Composition phytochimique

La composition chimique de *Mentha piperita* L. présente une variabilité qui dépend notamment de sa provenance géographique ainsi que des conditions de culture et de stockage (**Fecka et al., 2023**). Deux grands groupes de composés actifs y sont distingués dont le premier est constitué de la fraction volatile, comprenant les composés volatils, et le second consiste les composés non volatils, notamment les composés polyphénoliques (**Chakraborty et al., 2022 ; Fecka et al., 2023**).

4.1. Composés volatils ou huiles essentielles

À l'instar de toutes les menthes, la menthe poivrée synthétise et stocke les huiles essentielles dans des structures spécialisées au niveau de l'épiderme: ce sont les glandes sécrétrices (peltées et capitées), réparties sur l'ensemble de la plante, à l'exception des racines, et essentiellement sur les feuilles (**Benabdellah, 2017**).

Les huiles essentielles sont naturellement définies comme des métabolites secondaires volatils des plantes et se caractérisent par une forte nature aromatique et une composition chimique complexe. Elles sont généralement obtenues par distillation à la vapeur, hydrodistillation, pression mécanique à froid et distillation à sec de plantes médicinales et aromatiques. Les feuilles de *Mentha piperita* L. renferment environ 1.2 à 3.9 % (v/p) d'huiles essentielles et plus de 300 composants isolés et identifiés (**Eftikhari et al., 2021**). Elle est relativement riche en monoterpènes (52%) et sesquiterpènes (9%). Elles renferment aussi des aldéhydes (9 %), des hydrocarbures aromatiques (9 %), des lactones (7 %) et des alcools (6 %), dont la présence a été démontrée dans une plus faible proportion. Parmi les monoterpènes, le menthol est le principal constituant (35-60%), suivi par la menthone (2-44%), l'acétate de menthyle (0,7-23%), le menthofurane (0. 3-14%) et l'isomenthone (2-5%) (**Brahmi et al., 2017 ; Mahendran et Rahman, 2020**). Cependant, la littérature fait état d'une divergence dans la teneur en composés volatils de *Mentha piperita* L. (**Tableau 5**), influencée par divers facteurs dont le stade de maturité de la plante au moment de la récolte, la saison de récolte et les méthodes de séchage et d'extraction (**Rohloff et al., 2005**). Cette variabilité phytochimique des huiles de menthe poivrée est également influencée par des facteurs environnementaux, par les variations génétiques, l'état physiologique de la plante, ainsi que par sa localisation géographique (**Figueredo et al., 2008**). (**Tableau 5**).

Tableau 5. Composés volatils majeurs de *Mentha piperita* L récolté dans différentes régions du monde (Mahendran et Rahman, 2020).

composés volatil	Proportion (%)	Origine de la plante	Partie de la plante	Methodes d'analyse	Sources
Menthone	28.9	Iran	Feuilles	GC-MS	Saeidi & Mirfakhraie (2017)
	26.8	Iran	Plante entière	GC-MS	Machiani et al. (2018)
	24.56	Arabie saoudite	Partie aérienne	GC-MS	Desam et al. (2017)
	25.6	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Iso-menthone	11.40	Egipt	Tige	GC-MS	Bishr & Salama (2018)
	7.25	North Algeria	Partie aérienne	GC-MS	Benabdallah et al. (2018)
	11.80	USA	Partie aérienne	GC-MS	Aziz et al. (2008)
	2.4	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Menthol	36.02	Egypt	Partie aérienne	GC-MS	Bishr and Salama (2018)
	39.5	Iran	Plante entière	GC-MS	Machiani et al. (2018)
	39.63	Serbia	Partie aérienne	GC-MS	Mimica-Dukicetal. (2003)
	41.4	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Iso-Menthol	12.00	Brazil	plante	GC/MS et LC/MS	Nilo et al. (2017)
	3.4	Iran	Plante entière	GC-MS	Machiani et al. (2018)
	2.4	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Menthofuran	6.88	Arabie saoudite	Partie aérienne	GC et GC-MS	Desam et al. (2017)
	11.95	Brazil	plante	GC-MS	Nilo et al. (2017)
	6.2	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Limonene	1.13	Brazil	plante	GC/MS et LC/MS	Nilo et al. (2017)
	28.8	Iraan	Partie aérienne	GC-FID et GC/MS	Mahboubi & Kazempour (2014)
	37.18	Brazil	plante	GC-MS	De Sousa Barros et al. (2015)
	1.1	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Pulegone	0.42	North Algeria	Partie aérienne	GC-MS	Benabdallah et al. (2018)
	2.67	Egipt	Tige	GC-MS	Bishr & Salama (2018)
	2.4	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Carvone	2.30	Arabie Saoudite	Partie aérienne	GC et GC-MS	Desam et al. (2017)
	34.94	Oman	Feuilles	GC-MS	Satmi & Hossain (2016)
	0.5	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Carvacrol	0.4	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Piperitone	0.42	Iran	Partie aérienne	GC-MS	Beigi et al. (2018)
	1.19	USA	Partie aérienne	GC-MS	de Sousa Barros et al. (2015)
	3.2	Jordan	Partie aérienne	GC-MS	Al-Tawarach et al. (2023)
Piperitoneoxide	0.51	USA	Partie aérienne	GC-MS	Aziz et al. (2008)
	1.9	Iran	Partie aérienne	GC et GC-MS	Yadegarinia et al. (2006)
Piperitenone oxide	19.3	Iran	Partie aérienne	GC et GC-MS	Yadegarinia et al. (2006)

4.2. Composés phénoliques

Au sein du groupe des phytoconstituants, les polyphénols forment un groupe essentiel dont les propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et antioxydantes sont bien établies. Il s'agit de métabolites secondaires que les plantes synthétisent dans des conditions

défavorables telles que les stress biotique (exposition aux pathogènes et/ ou ravageurs) et abiotique (température, sécheresse, salinité, alcalinité, UV, les métaux lourds, etc.) qui leur causent de graves dommages (Kumar et al., 2023). Chez *Mentha piperita* L., la composition en composés phénoliques comprend différents sous-groupes, dont les flavonoïdes, les acides phénoliques, les lignanes et les stilbènes (Mahendran & Rahman, 2020). Cependant, la littérature fait état de différences quantitatives et qualitatives dans le contenu phénolique de *Mentha piperita* L. (Tableau 6), résultant de plusieurs facteurs, notamment la position géographique, le climat ou encore certaines caractéristiques environnementales, ainsi que des facteurs propres à la plante (état physiologique, variation génétique et stade d'évolution au moment de la récolte) (Renoz et al., 2022). Les méthodes et solvant d'extraction, les méthodes de séchage, les techniques d'analyse, ainsi que la saison de récolte ont été également incriminés (Rohloff et al., 2005 ; Kürekci & Beyazit, 2022).

Tableau 6. Aperçu bibliographique sur le contenu phénolique de *Mentha piperita* L. cultivée dans différentes régions du monde.

Origine de la plante	Partie analysée	Composés phénoliques totaux	Flavonoïdes totaux	Composés phénoliques majoritaires	Sources
Algérie (Parc National d'El-Kala)	Parties aériennes (méthanol/ eau ; 80 :20 ; v/v)	31.4±0.8 mg EAG/g MS	15.7±0.1 mg ER/g MS	ND	Benabdallah et al. (2018)
Bulgarie	Plante entière (acetone/eau ; 80:20 ; v/v)	20216 ±359mg/100g	ND	ND	Kratchanova et al. (2010)
	Plante entière (eau)	9356± 204mg/100g	ND	ND	
Slovaquie	Rhizomes (eau)	ND	ND	Acide rosmarinique	Bittner et al. (2019)
	Feuilles (eau)	ND	ND	Eriocitrine	
Croatie	Feuilles (éthanol)	ND	ND	Acide rosmarinique	Vladimir-Kneževi et al. (2014)
Tchécoslovaquie	Feuilles (eau)	63 mgEAG/g	ND	Acide rosmarinique	Chrpova et al. (2010)
Pologne	Partie aérienne (méthanol/eau ;70 :30 ; v/v)	41.74 mg/g MS	ND	ND	Krzyzanowska et al. (2011)
Portugal	Feuilles (méthanol)	ND	ND	eriodyctiol, luteoline, Acide rosmarinique	Pereira et al. (2016)
Serbie	Parties aériennes (éthanol/eau ; 80 :20 ; v/v)	ND	ND	Rutine	Kulig et al. (2019)
Arabie Saoudite	Feuilles (méthanol)	ND	ND	Acide rosmarinique	Elansary et al. (2020)
Belgrade	Plante entière (ethanol/eau: 80:20, v/v)	18.4 ± 0.01	ND	Acide rosmarinique,	Misan et al. (2011)
Turquie	Feuilles (méthanol /eau: 70:30, v/v)	ND	ND	Acide rosmarinique	Kürekci & Beyazit. (2022)
Iran	Methanol	3.57 ±0.26 gEAG/100g	2.48 ± 0.10	ND	Farnad et al. (2014)
	Ethanol	1.99 ±0.32gEAG/100g	1.31 ±0.20	ND	
	Methanol/ethanol	2.89 ±0.30gEAG/100g	3.33 ±0.12	ND	

EAG : Equivalent Acide Galique ; EQ: Equivalent Quecetine ; ER : Equivalent rutine ; MS : Matière sèche ; PS : poids sec ; ND : Non déterminé.

Parmi les principaux composés phénoliques du genre *Mentha* les acides phénoliques constituent le groupe le plus répondeu, notamment l'acide caféique et ses dérivés, l'acide chlorogénique et l'acide rosmarinique représentant 60 à 80 % du total des composés phénoliques (Fecka & Turek, 2007 ; Misan et al., 2011). L'acide rosmarinique est le composé phénolique le plus abondant chez *Mentha piperita* L. et représente 30 % du total de ces composés (Chrpova et al., 2010 ; Vladimir-Kneževi et al., 2014 ; Bittner et al., 2019 ; Elansary et al., 2020 ; Kürekeci & Beyazit., 2022).

La menthe poivrée renferment également des flavonoïdes, principalement sous la forme de flavones (lutéoline, lutéoline O-diglucuronide, lutéoline O-glucuronide, lutéoline 7-O- β -glucuronide, lutéoline 7-O-rutinoside et isorhoifoline) et de flavanones (eriodictyol, naringine, eriodictyol-glycopyranosyl rhamno pyranoside, naringénine7-O- β -glucoside, hespéridine et ériocitrine). Les principaux flavones définis dans cette plante sont la lutéoline et ses dérivés (Kapp, 2015), ainsi que d'autres composants tels que l'ériocitrine, la naringénine-7-O-glucoside, la lutéoline-7-O-glucoside, l'ériodictyol, l'isorhoifoline, la lutéoline et l'apigénine (Mahendran et Rahman, 2020).

Par ailleurs, la présence des flavonols et les dihydroflavonols chez cette espèce végétale a été moins signalées. La présence du Kaempferol 7-O-rutinoside et du 40-methoxy kaempferol-7-O-rutinoside a été rapportée (Dolzhenko et al., 2010 ; Gao et al., 2012).

La présence de rutine a été également décrite par plusieurs auteurs (Gao et al., 2012 ; Farnad et al., 2014), de même que d'autres flavonols ou dihydroflavonols comme la quercétine, la quercétine-40-glucoside et la myricétine O-glucoside (Hadjmohammadi et al., 2013 ; Mekinic et al., 2014).

En outre, Areias et al. (2001) ont démontré la présence du glycoside ériocitrine comme composant principal dans l'extrait aqueux de la plante.

4.3. Autres composés

La menthe poivrée renferme une variété d'acides gras, notamment des acides gras insaturés, qui sont quantitativement prédominants dont particulièrement ceux appartenant aux classes oméga-3, oméga-6 et oméga-9, réputés essentiels au bon fonctionnement du corps humain, puisqu'ils assurent la fonction des membranes cellulaires, présentent une activité anti-cholestérolémique, transforment le cholestérol en acides choliques afin que ceux-ci soient éliminés de l'organisme, et interviennent aussi dans le métabolisme des graisses (Brown et al., 2019).

Parmi les acides gras identifiés dans la menthe poivrée, l'acide linoléique (ω -6), l'acide linoléique (ω -3) et l'acide palmitique sont majoritaires (Bleiziffer et al., 2017, Savych et al., 2021 ; Eftekhari et al., 2021).

Mentha piperita L. contient en outre une variété d'acides aminés, principalement de l'acide glutamique et l'acide aspartique ainsi que des taux variables de proline, valine, sérine, leucine, isoleucine et bien d'autres acides aminés (Bleiziffer et al., 2017). (Tableau 7).

Tableau 7. Composition lipidique de *Mentha piperita* L.

Acides gras	Nomenclature chimique	Teneur en methyl esters d'acides gras (mg/g)	
Acides gras saturés			
Acide caprique (decanoïque)	C 10:0	0.06	NI
Acide laurique (dodecanoïque)	C 12:0	0.21	NI
Acide myristique (tétradécanoïque)	C 14:0	0.08	NI
Acide pentadécylique (pentadécanoïque)	C 15:0	0.08	NI
Acide palmitique (hexadécanoïque)	C 16:0	2.71	1.44
Acide stéarique (octadécanoïque)	C 18:0	0.25	0.37
Acide arachidique (éicosanoïque)	C 20:0	0.12	0.132
Acide behénique (docosanoïque)	C 22:0	0.18	0.13
Acide lignocérique (tétracosanoïque)	C 24:0	0.28	0.04
Acide pentacosylique (pentacosanoïque)	C 25:0	0.19	NI
Acides gras monoinsaturés			
Acide oléique (octadécénoïque, ω -9)	C 18:1	0.48	NI
Acide palmitoléique (hexadécénoïque, ω -7)	C 16:1	0.29	0.18
Acides gras polyinsaturés			
Acide linoléique (ω -6)	C 18:2	3.73	1.44
Acide linoléique (ω -3)	C 18:3	2.98	9.55
Taux d'acides gras saturés		4.16	2.11
Taux d'acides gras insaturés		7.48	11.18
Partie de la plante		Feuilles	Feuilles
Provenance de la plante		Ukraine	Roumanie
Sources		Savych et al. (2021)	Bleiziffer et al. (2017)

NI : Non identifié

Les feuilles de menthe poivrée contiennent également des vitamines α - et γ -tocophérols et de fortes proportions d'acide ascorbique (Riachi & De Maria, 2015 ; McKay & Blumberg, 2006), ainsi qu'en certains minéraux dont principalement le potassium, le calcium et le magnésium à 33, 15.3 et 5.8 g/kg de feuilles sèches respectivement ; alors qu'elle s'avère contenir de faibles quantités de sodium. Elles renferment aussi du fer, de la manganèse, du zinc et du cuivre à des taux successifs de 239, 188, 51 et 12 mg par kg de feuille sèche et des traces de chrome, d'iode et de sélénium à 914, 325 et 147 μ g/g, respectivement (Lozak et al., 2002, McKay & Blumberg, 2006). La présence de sucres, de saponines, d'alcaloïdes, d'anthraquinones et de quinine chez l'espèce végétale *Mentha piperita* L., a aussi été rapportée par de nombreux auteurs (Eftekhari et al., 2021).

5. Activités biologiques et effets pharmacologiques

Mentha piperita L. a fait l'objet de plusieurs études ayant mis en évidence chez la plante une multitude d'activités biologiques et pharmacologiques liées à plusieurs composés bioactifs ou composé phytochimiques constitutifs (Brahmi et al., 2017).

5.1. Activité antioxydante

Quelques données bibliographiques rapportées par de nombreux chercheurs et relatives au potentiel antioxydant de la menthe poivrée sont indiquées dans le (**Tableau 8**).

Tableau 8. Pouvoir antioxydant associé aux extraits et huiles essentielles de *Mentha piperita* L. (**Mahendran & Rahman, 2020**).

Parties de la plante	Type d'extrait	Test	Activité antioxydant	Sources
Partie aérienne	Huiles essentielles	DPPH	IC ₅₀ : 59.19 µg/ml	Gharib & Silva (2013)
Partie aérienne	Extrait méthanolique	DPPH	IC ₅₀ : 17.00µg/ml	Benabdallah et al. (2018)
		blanchiment du β-carotène	IC ₅₀ : 516.00µg/ml	
Feuilles	Extract méthanolique	ORAC	83.43 mM ET g/L	Uribe et al. (2016)
Feuilles	Extract éthanolique	HRSA	79.27%	Li et al. (2017)
Feuilles	Huile essentielle	SRSC	IC ₅₀ –356.45 µg/ml	Bellassoued et al. (2018)
Feuilles	Infusion	TEAC	1.27 mM ET	Ivanova et al. (2005)
Feuilles	Extrait aqueux	FRAP	3464.59 µM TE/L	Zielinski et al. (2014)
		DPPH	35.24 ± 16.42%	
Feuilles	Ethanol-eau (80:20)	FRAP	25.7 mmol de vitaminc C /l	Generalić Mekinić et al. (2014)
		DPPH	IC ₅₀ :254 mg EAG /l	
		ABTS	IC ₅₀ : 237 mg EAG/l	
		Inhibition du β-carotène	72%	

DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl ; ORAC : oxygen radical absorbance capacity ; HRSA: hydroxyl radical scavenging activity ; SRSC: Superoxide radical scavenging capacity; TEAC :Trolox equivalent anti-oxidant capacity; FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power; ABTS: ABTS radical cation decolorization activity, EAG: equivalentrt d'acide gallique; ET: Equivalent Trolox.

Les huiles essentielles et les extraits de *Mentha piperita* L. sont de puissants antioxydants démontrés par divers tests invitro (**Tableau 8**), tels que le piégeage des espèces réactives de l'oxygène par les tests au DPPH et à l'ABTS, inhibition des radicaux superoxydes, Activité de piégeage des radicaux hydroxyles, essai de blanchiment de l'acide β-carotène-linoléique, PM (phosphomolybdène), FRAP (essai de pouvoir réducteur ferrique) (**Mahendran & Rahman, 2020**), ainsi que le test d'inhibition de la peroxydation des lipide (TEBARS) (**Chakraborty et al., 2022**). Dans ce contexte, l'huile de menthe poivrée a montré un effet antioxydant plus important sur la peroxydation de l'huile de tournesol que l'hydroxytoluène butylé (BHT) (**Singh et al., 1998 ; Chakraborty et al., 2022**).

Les extraits éthanoliques et méthanoliques de cette plante se sont également révélés être des antioxydants naturels permettant de réduire remarquablement le stress oxydatif chez l'homme et l'animal (**Farnad et al., 2014**).

5.2. Activités antibactériennes et antifongiques

La menthe poivrée est une plante biologiquement active dont les composés constitutifs offrent un intérêt indéniable pour les scientifiques travaillant sur les maladies infectieuses (**Mucciarelli et al., 2007, Loolaie et al., 2017**). Les huiles essentielles et les extraits de cette plante ont montré une forte activité antimicrobienne contre tout un éventail de bactéries gram-positives du genre *Staphylococcus* (*aureus, epidermidis, pyogenes, pyogenicus*), *Bacillus* (*subtilis, cereus*) ainsi que *Micrococcus flavus, Streptococcus thermophiles* et *Lactobacillus bulgaricus* ; mais aussi sur les bactéries à Gram négatif, notamment *Salmonella* (*typhi, paratyphi A/B, enteritides, pullorum, faecalis*), *Escherichia coli, Klebsiella pneumonia, Xanthomonas campestris, Mycobacterium avium, Acinetobacter sp, Comamonas terrigena, Serratia marcescens, Proteus vulgaris, Enterobacter aerogenes, Yersinia enterocolitica* et *Shigella dysenteriae* (**Shaikh et al., 2014 ; Sun et al., 2014 ; Bohnert et al., 2016**).

Cependant, l'intensité de cet effet antibactérien de *Mentha piperita* L. est variable, selon qu'il s'agit de bactéries gram-positives ou gram-négatives. En effet, dans ce contexte, **Hussein et al. (2020)** ont constaté une sensibilité élevée des bactéries gram-positives par rapport aux bactéries gram-négatives en raison de la présence de lipopolysaccharides hydrophobes dans la membrane externe des bactéries à Gram négatif, qui offrent une protection contre les agents antibactériens, y compris les composés phénoliques. Une telle structure empêcherait la dépoliarisation et la formation de pores ainsi que l'augmentation de la perméabilité membranaire (**Ebbensgaard et al., 2018 ; Hussein et al., 2020**).

D'autres études ont montré, toutefois, que l'activité antibactérienne de l'extrait de feuilles de menthe poivrée contre les bacilles à Gram négatif est plus élevée que celle de l'extrait de tige (**Shaikh et al., 2014**).

Ces propriétés antimicrobiennes des extraits de *Mentha piperita* L. sont principalement dues à leurs principaux composants bioactifs dont le menthol. Ce dernier, en tant que monoterpène cyclique, a bien démontré un rôle important dans la désorganisation structurale de la membrane cellulaire, entraînant une dépoliarisation et des modifications chimiques ou physiques perturbant les activités métaboliques particulièrement des champignons (**Ait-Ouazzou et al., 2012**).

Néanmoins, d'autres composants (tels que le b-pinène, le limonène, le caryophyllène et l' a-pinène) sont aussi impliqués dans la capacité antimicrobienne des extraits de la plante (**Mahboubi et Haggi, 2008**) conférée probablement par l'établissement d'interactions synergiques entre ces constituants bioactifs (**Riahi et al., 2013 ; Gholamipourfard et al., 2021**).

5.3. Activité antivirale

Les extraits de *Mentha piperita* L. présentent des propriétés antivirales significatives, attestées par plusieurs études (**Bekhit et al., 2011 ; Brand et al., 2016; Loolaie et al., 2017**). En effet, l'extrait aqueux des feuilles de menthe poivrée présente une efficacité remarquable à inhiber divers types de virus, notamment les deux types de virus de l' Herpes simplex (HSV-1 et HSV-2) (**Almatroodi et al., 2021**), le virus de l'immunodéficience humaine-1 (VIH-1) (**Yamasaki et al., 1998**), le virus de la grippe A, le virus Vaccinia (**Herrmann et Kucera, 1967; Chakraborty et al., 2022**) et le covid 19 (appelé aussi Corona virus ou SRAS-CoV-2) (**Khan, 2021**).

Il est bien établi que divers composés bioactifs volatiles tels que la menthone et le menthanol présents dans les huiles essentielles et les extraits de *Mentha piperita* L. peuvent inhiber efficacement la réplication de certains virus, dont le virus covid-19, et aider à obtenir un meilleur fonctionnement du système respiratoire du patient en dilatant les bronchioles et en facilitant la lyse des mucosités (Gaurav, 2016).

L'hespéridine, la rutine et l'isorhoifoline sont également des composés actifs constitutifs des feuilles de menthe ayant démontré un fort pouvoir inhibiteur contre le virus SRAS-CoV-2 en agissant notamment par inactivation des protéases virales (Chakraborty et al., 2022). La perforation de la membrane virale, l'inhibition de la réplication de l'ADN et l'inactivation d'autres enzymes virales sont aussi des mécanismes qui peuvent être impliqués dans l'inhibition du pouvoir infectieux de ce virus par les composés phytochimiques de *Mentha piperita* L (Asif et al., 2020 ; Ma et al., 2020).

5.4. Activités anti-inflammatoires et antiallergiques

Les activités anti-inflammatoires des huiles essentielles, ainsi que des extraits de *Mentha piperita* L. ont été évaluées in vitro et in vivo par de nombreux auteurs. En effet, dans une étude, l'huile essentielle de menthe poivrée contenant du menthol et du cinéole, ingérée par voie orale à des cobayes, a permis la suppression de l'anaphylaxie cutanée déclenchée par les anticorps IgE (Arakawa et al., 1992 ; Chakraborty et al., 2022). En outre, le menthol, comme principal constituant de l'huile s'est révélé bénéfique chez les patients souffrant de colite ulcéreuse aiguë (Ghasemi-Pirbalut et al., 2017).

L'extrait aqueux de menthe poivrée a également montré des aptitudes thérapeutiques intéressantes dans la réduction de la réponse inflammatoire dans un modèle d'œdème de l'oreille chez la souris induit par l'huile de croton en abaissant la production d'oxyde nitrique (NO) et de prostaglandine E2 (PGE2) (Sun et al., 2014, Wei et al 2023).

Par ailleurs, il a été rapporté que la menthe poivrée est en mesure de soulager les symptômes nasaux de la rhinite allergique par administration orale d'un extrait éthanolique de feuilles et de tiges de la plante à des rats présentant des symptômes nasaux induits par une provocation antigénique chez des animaux activement sensibilisés en atténuant significativement les éternuements à une dose de 300 mg/kg et les frottements nasaux à une dose de 1000 mg/kg (Kamei et al., 2000 ; Inoue et al., 2001 ; Chakraborty et al., 2022).

5.5. Activité anti-hépatotoxique

L'huile essentielle des feuilles de *Mentha piperita* L. a montré un effet protecteur contre l'hépatotoxicité induite par le tétrachlorure de carbone (CCl₄) en réduisant le taux d'alanine transférase, d'aspartate aminotransférase, de phosphates alcalins, d'urée, d'acide urique, de créatinine, de bilirubine et de certaines peroxydases telles que le glutathion et l'acide folique (Khalil et al., 2015). L'administration orale de cette huile fait également baisser les taux d'urée et de créatinine sériques, et réduit de manière significative la peroxydation lipidique (TBARS) hépatique et rénale (Bellassoued et al., 2018 ; Mahendran et Rahman., 2020).

5.6. Activité antidiabétique

Bien que le mécanisme exact par lequel la menthe poivrée réduit le taux de glucose dans le sang ne soit pas entièrement compris, la capacité antidiabétique potentielle de l'huile essentielle et des extraits de la plante a été démontrée dans de nombreux travaux. A ce propos, il a été rapporté qu'une dose orale quotidienne de 100 et 250 mg/kg de poids corporel d'huile essentielle de menthe poivrée entraîne une réduction du taux de glucose sérique, ainsi que les niveaux de triglycérides, de lipoprotéines de très faible densité (VLDL), de lipoprotéines de faible densité (LDL) et de cholestérol dans le sang chez des rats nourris au fructose (**Badal et al., 2011 ; Chakraborty et al., 2022**).

D'après **Abdellatif et al. (2017)**, des doses orales de 40 et 80 mg/kg (poids corporel) d'huile essentielle de menthe poivrée ont permis de réduire la glycémie chez des rats diabétiques et de corriger l'anémie résultant de la maladie tout en abaissant les niveaux de leucocytes ainsi que de plaquettes et en augmentant les concentrations plasmatiques d'insuline sérique et du C-peptide.

En outre, une diminution des taux de glucose sanguin et urinaire ainsi que des niveaux d'albumine, d'urée et d'acide urique dans l'urine a été observée chez des rats diabétiques après l'ingestion d'une infusion de menthe poivrée pendant 4 semaines (**Figuroa-Pérez et al., 2018**).

5.7. Activité cardiovasculaire

L'huile de menthe poivrée semble dotée de propriétés vasodilatatrices démontrées dans plusieurs études chez des modèles animaux tels que le rat (**Fialova et al., 2015**). Ceci résulte d'une baisse de la pression artérielle, mais aussi d'un ralentissement du rythme cardiaque (**Chakraborty et al., 2022**). Ces effets cardiovasculaires de l'huile de menthe poivrée peuvent également être liés à une réduction de la tonicité des muscles lisses artériels (**Akbari et al., 2019**).

5.8. Activité anticancéreuse

Plusieurs études in vitro et in vivo se sont intéressées aux activités anti-tumorales de *Mentha* spp. contre de nombreuses lignées cellulaires cancéreuses (**Baliga et Rao, 2010**). La présence de composés phénoliques dans la menthe semble constituer un élément clé du mécanisme anticancéreux, lequel repose principalement sur la protection contre l'oxydation, la mutation et la prolifération des cellules cancéreuses, le renforcement de la fonction et du système immunitaire, l'induction enzymatique, le rehaussement du pouvoir détoxifiant et la régulation de la résistance aux médicaments multiples ainsi que l'action synergique (**Wei et al., 2023**).

Dans ce contexte **Hussain et al. (2010)** ont mis en évidence les effets inhibiteurs significatifs de l'huile essentielle hydro-distillée de *Mentha piperita* L. contre la lignée de cellules tumorales mammaires humaines MCF-7. En outre, l'huile essentielle et l'extrait méthanolique de cette plante se sont révélés efficaces contre les lignées cellulaires cancéreuses Vero, Hela et Hep2 (**Wei et al., 2023**).

5.9. Activité neuro-protective

La menthe poivrée est réputée pour ses effets stimulants du système nerveux central. A ce sujet, plusieurs recherches ont été menées pour démontrer in vivo les effets bénéfiques d'extraits de la

plante sur les performances cognitives, la perception d'un travail physique stressant et les réactions à la douleur, en fonction des changements possibles dans l'activité cérébrale. (Akbari et al., 2019 ; Chakraborty et al., 2022).

Lopez et al, (2010) ont mis en évidence chez les sujets humains un fort effet inhibiteur d'une dose de 10 mg/ml d'extrait méthanolique de *Mentha piperita* L., sur la monoamine oxydase A ; une enzyme du corps humain dont les taux anormaux sont corrélés avec certains comportements criminels et qui contribue aussi dans la dégradation de la dopamine dans le cerveau.

Par ailleurs, l'huile essentielle de menthe poivrée, riche en menthol et en menthone semble moduler de manière bénéfique les performances des tâches cognitives exigeantes et s'avère atténuer l'augmentation de la fatigue mentale associée à l'exécution prolongée de tâches cognitives chez des sujets adultes sains (Kennedy et al., 2018 ; Almatroodi et al., 2021).

6. Toxicologie des composés bioactifs de menthe

L'innocuité de la menthe poivrée a été confirmée par de nombreuses études in vivo et in vitro. Cependant, de légères manifestations d'effets toxicologiques ont été constatées lors de l'ingestion particulière de l'huile essentielle issue de cette plante aromatique.

Une étude portant sur la toxicité aiguë de l'huile essentielle de menthe poivrée administrée à des rats a fait ressortir une DL50 élevée comprise entre 2410 et 4441 mg/kg (Nair, 2001 ; Malekmohammad et al., 2021). Cet huile est surtout contre-indiquée pour les sujets souffrant d'obstruction des voies biliaires, d'inflammation de la vésicule biliaire et de lésions hépatiques graves (Rita & Animesh, 2011 ; Malekmohamma et al., 2021), et elle est déconseillée pour les patients présentant des reflux gastro-intestinaux, des hernies hiatales et des calculs rénaux (McKay & Blumberg, 2006).

Par ailleurs, l'application de l'huile de menthe poivrée directement sur la zone nasale ou thoracique chez un nourrisson peut induire des risques d'apnée, de spasmes laryngés et bronchiques, de détresse respiratoire aiguë et d'arrêt respiratoire (Blake et al., 1993 ; Malekmohammad et al., 2021). Cette toxicité de l'huile de *Mentha piperita* L. provient principalement de deux composants potentiellement toxiques : la pulégone et le menthol (Shah & Mello, 2004).

Il a été rapporté que l'administration de doses de 80 et 160 mg de pulégone pendant 28 jours à des rats a entraîné une perte de poids, une atonie, un abaissement du taux de créatinine sanguine et des modifications histopathologiques du foie et de la substance blanche du cervelet (Mitchell & Crowe, 1996).

Tandis que le menthol administré à de fortes doses d'environ 800 mg/kg peut induire des modifications hépatocellulaires chez le rat (Thorup, et al., 1983), il peut aussi provoquer une jaunisse chez les nouveau-nés (Rita & Animesh, 2011).

Plus encore, d'après des études cliniques, réalisées sur des sujets humains, l'inhalation excessive de préparations mentholées semble provoquer des nausées réversibles, de l'anorexie, des troubles

cardiaques, de l'ataxie et plusieurs autres troubles du système nerveux central (**Hawthorn et al., 1988 ; Tafrihi et al., 2021**).

7. Aperçu sur les produits laitiers renforcés de *Mentha piperita* L.

L'incorporation de *Mentha piperita* L. à l'état brut ou d'extraits dans le lait et les produits laitiers peut avoir divers objectifs et avantages, notamment en termes de saveur (**Akan et al., 2022a**) et de santé en proposant aux consommateurs des produits laitiers multifonctionnels bénéfiques pour leur santé permettant de lutter contre divers pathologie telles que l'hypertension (**Amirdivani & Baba, 2011**) et le diabète (**Shahein et al., 2023 ; Akan et al., 2022b**).

Dans le secteur laitier, cette plante peut également être utilisée comme alternatives au conservateurs synthétiques visant à améliorer la qualité du produit, prolonger sa durée de vie et réduire le risque de contamination par les effets inhibiteurs antibactériens avérés de ses composés bioactifs contre les germes de contamination microbienne au cours de la conservation notamment et d'altération (**Mishra et al., 2020 ; Yilmaztekin et al., 2019 ; Azizkhani & Tooryan, 2016 ; Degnon et al., 2016**).

7.1. Stratégies d'incorporation de *Mentha piperita* L. dans le lait et dérivés

Les techniques mises en œuvre pour intégrer la menthe poivrée à des produits laitiers ont été soigneusement évaluées par les chercheurs qui vont de l'utilisation du matériel végétal à l'état brut après avoir été réduit en poudre ou de ces diverses formes d'extraits (aqueux, alcooliques ou huiles essentielles) en tant qu'additifs alimentaires naturels dans les produits laitiers (incorporation directe) à l'utilisation en tant que suppléments dans le régime alimentaire des animaux laitiers au cours de l'élevage (incorporation indirecte) (**Tableau 9**).

7.1.1. Incorporation directe

Il s'agit d'utiliser la plante à l'état brut après séchage et broyage ou sous forme d'extraits (aqueux, alcooliques ou d'huiles essentielles) comme additifs alimentaires naturels pour renforcer la qualité des produits laitiers transformés.

7.1.1.1. Usage sous forme de poudre

L'utilisation de la plante à l'état brut ou après sa mise en poudre par broyage est une méthode à la fois simple et économique, qui ne nécessite pas d'équipement ou de réactifs particuliers. Cette approche convient parfaitement aux produits pour lesquels une texture granuleuse est tolérée. Dans une étude (**Noghani et Sameti, 2015**) ont indiqué que l'intégration de la poudre de menthe poivrée dans la formulation d'un fromage domestique "fromage Borujerd" produit en Iran, dans la région de Borujerd, à partir de lait de brebis, permet d'obtenir une texture fromagère légèrement granuleuse, mais jugée acceptable par l'ensemble des dégustateurs.

En outre, ils ont démontré l'efficacité de cette plante réduite en poudre dans la prolongation de la durée de conservation du produit laitier et dans l'amélioration de sa qualité microbienne et physico-chimique. Ils ont constaté aussi une diminution du nombre de coliformes, de moisissures et de levures ainsi qu'une augmentation du pH en fonction des niveaux de poudre de plante ajoutés, à savoir 0.1, 0.2 et 0.3 %, au cours de 60 jours de stockage à 4°C, résultant de l'activité antibactérienne des composés présents dans la plante, notamment le menthol,

la menthone, le carvacrol, la carvone, l'eugénol et le limonène, qui ont inhibé l'activité productrices d'acide des bactéries lactiques, tout en maintenant les caractéristiques organoleptiques, gustatives et olfactives du fromage à un niveau désiré.

De leur côté, **Shahein et al. (2023)** ont réussi à produire un lait de chamelle fermenté avec des propriétés thérapeutiques intéressantes, en y ajoutant des concentrations de 1 et 1.5% de poudre de feuilles de *Mentha piperita* L., ayant démontré une efficacité antidiabétique notable chez des rats diabétiques recevant des doses orales quotidiennes de 85 ml de lait de chamelle fermenté enrichi en menthe poivrée par kilogramme de poids corporel pendant 8 semaines. Selon les mêmes auteurs, à la concentration de 1.5 % de menthe poivrée, le lait fermenté a montré également un effet positif sur les fonctions hépatiques et rénales.

Il est bien établi que l' α -glucosidase et l' α -amylase sont des enzymes qui déclenchent le diabète de type 2 en augmentant la glycémie par la dégradation rapide de l'amidon et du sucre après un régime mixte de glucides (**Oboh et al. 2014**). Retarder l'absorption du glucose en inhibant ces deux enzymes est donc une méthode thérapeutique importante pour contrôler le diabète de type 2 et certaines maladies dégénératives liées au diabète. Ceci peut être rendu possible par l'utilisation de *Mentha piperita* L. dans les préparations de lait et dérivés destinés aux patients et dont les principaux composés bioactifs constitutifs ont démontré des effets inhibiteurs remarquables sur l'activité de ces deux enzymes (**Ali-Asgar, 2013**).

7.1.1.2. Usage sous forme d'extraits aqueux

Le choix de l'eau comme solvant d'extraction constitue un avantage par rapport aux solvants organiques en raison de son innocuité, son respect de l'environnement, son accessibilité et son faible coût (**Munro et al., 2015**).

Dans ce contexte, plusieurs essais visant à intégrer des extraits aqueux de menthe poivrée dans des produits laitiers tels que le yaourt ont été recensés par la littérature scientifique. Citons comme exemple les travaux de **Amirdivani & Baba (2011)**. En incluant une dose de 10% (V/V) d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. dans la préparation d'un yaourt étuvé, ces auteurs sont parvenus à mettre au point un yaourt fonctionnel avec une meilleure activité anti-ACE-I (enzyme de conversion de l'angiotensine I qui est un facteur intermédiaire important dans le contrôle de l'hypertension artérielle), ce qui est considéré par de nombreux auteurs comme étant bénéfique dans le traitement de l'hypertension (**Johnston & Franz, 1992**). Ils ont également constaté une amélioration de l'activité antioxydante du produit final d'environ deux fois par rapport à celle du yaourt nature, associée à une teneur plus élevée en composés phénoliques et une meilleure activité métabolique des bactéries starters (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) au cours de 28 jours de stockage au froid positif de 4°C.

Dans d'autres études menées par (**Akan et al., 2022a ; Akan et al., 2022b**) visant à examiner les effets de l'incorporation d'extraits aqueux de 5 plantes médicinales (ail, thym, basilic, romarin et menthe poivrée) obtenus par macération à 70°C pendant une nuit de 10 g de chaque plante dans 100 ml d'eau, sur la qualité d'un yaourt contenant des probiotiques (*Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium longum* et *Lactocaseibacillus casei*) et en termes de perception sensorielle, qui implique la couleur, la saveur, la texture et l'impression générale

du produit, le yaourt additionné d'extrait de menthe à 10% a été jugé de meilleur ; alors qu'aucun effet significatif de ces extraits sur la viabilité des bactéries en question, ni sur le pH et l'acidité titrable des produits n'a été constaté pendant 28 jours de stockage à 4°C (**Akan et al., 2022a**).

En outre, l'ajout de l'extrait aqueux de menthe poivrée à 10% a permis d'améliorer les propriétés fonctionnelles du yaourt probiotique, entraînant un accroissement remarquable ($P < 0.05$) de la teneur en composés phénoliques totaux et de l'activité antioxydante du produit par rapport au témoin (**Akan et al. , 2022b**).

Par ailleurs, **Komes et al. (2017)** ont développé des boissons fonctionnelles à base de lait de chèvre, présentant des propriétés bioactives et une activité antioxydante renforcée par l'incorporation de 10% d'extraits aqueux de 5 plantes médicinales dont le produit additionné d'extrait de *Mentha piperita* L., qui a affiché comparativement aux autres essais les teneurs les plus élevées en phénols totaux (4745.4 EAG mg /l), en lutéoline et en acide hydroxycinnamique, tout en présentant une meilleure qualité sensorielle.

7.1.1.3. Usage d'extraits alcooliques et hydroalcooliques

Compte tenu de leur ampleur et de son efficacité, l'utilisation des solvants organiques pour l'extraction des substances actives des matrices végétales est une méthode fréquemment appliquée. En effet, les extraits ainsi obtenus ont démontré une activité antimicrobienne plus constante et plus forte que celle des extraits aqueux (**Parekh et al. , 2005, Das et al., 2010**). Il a été constaté en outre que l'extraction au méthanol et à l'éthanol présente des meilleurs taux d'extraction notamment en terme de contenu phénolique présentant aussi des meilleurs pouvoirs antioxydants (**Araújo et al., 2015**).

De plus, les solvants binaires tels que le méthanol-eau ou éthanol-eau se sont avérés encore plus efficaces dans les procédés d'extraction des composés bioactifs des plantes et plus respectueux de l'environnement que les l'ensemble des solvants organiques purs utilisés seuls (**Luthria et autres 2007 ; Mustafa et Turner 2011, Ameer et al., 2017**).

Cependant, les publications scientifiques relatives à l'utilisation des extraits alcooliques ou hydroalcooliques de *Mentha piperita* L. dans les produits laitiers demeurent encore limitées. Ces extraits ont toutefois suscité la curiosité de certains chercheurs en tant qu'additifs naturels pouvant apporter à la fois des bénéfices sanitaires aux consommateurs et des bénéfices technologiques à l'industriel en termes d'amélioration de la qualité et du prolongement de la durée de conservation des produits laitiers dont notamment les laits fermentés.

Citons comme exemple l'ajout d'extrait éthanolique de menthe poivrée au Doogh, boisson traditionnelle iranienne préparée à partir de yaourt salé, qui a conféré au produit une activité antimicrobienne plus importante que celle de la natamycine (antibiotique) utilisée à 10 ppm, notamment contre les levures et les moisissures, en lui procurant ainsi une meilleure stabilité pendant 30 jours de réfrigération à 4°C malgré la légère altération de ses propriétés sensorielles constatées par les panélistes dont la couleur et l'aspect (**Gilan, 2023**).

Dans une autre étude consacrée à la création d'un nouveau produit fonctionnel, un yaourt brassé supplémenté à des taux de 0.1, 0.3 et 0.5% d'extrait éthanolique de *Mentha piperita* L., obtenu

par macération dans du méthanol concentrée à 80% (v/v) a entraîné une nette amélioration de l'activité antioxydante en fonction de la hausse des doses de l'extrait et l'inhibition de la croissance des bactéries protéolytiques et lipolytiques, ainsi qu'une meilleure qualité sensorielle à une concentration de 0.1 %, au-delà de laquelle les caractéristiques organoleptiques ont été relativement altérées, sans toutefois avoir un effet significatif sur le pH du produit au cours de toute la période de stockage à 4°C (Tomar et al., 2021).

Au contraire, Ait Chabane et al. (2021) ont relevé une hausse du pH accompagnée d'une réduction de l'acidité et de la viscosité du yaourt étuvé renforcé d'extrait hydroéthanolique (80 : 20, éthanol : eau, v/v) de *Mentha piperita* L., à des taux de 2, 4 et 6% (v/v) offrant au produit une sensation de fraîcheur très appréciée notamment à la concentration de 6% d'extrait, avec un développement moins important des germes spécifiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* au cours de 21 jours de réfrigération à 4°C comparativement au yaourt témoin.

En outre, dans l'objectif d'élaborer une boisson lactée fonctionnelle à base de lactosérum et du lait l'ajout de seulement 0.025% (poids/volume) d'extrait hydroéthanolique de menthe poivrée obtenu par macération au froid dans l'éthanol aqueux à 70% (v/v) à la formulation a renforcé remarquablement le taux de composés phénoliques ainsi que l'activité antioxydante du produit et la qualité sensorielle du breuvage laitier ainsi obtenu a été très bien acceptée par le jury de dégustation (Fischer et al., 2020).

7.1.1.4. Usage d'huiles essentielles

Les huiles essentielles sont constituées de composés organiques volatils liposolubles, obtenus à partir de plantes aromatiques (fruits, fleurs, feuilles, tiges, graines, bois et racines) par distillation à la vapeur d'eau, et reflètent généralement l'odeur de la plante dont elles sont issues (Petitet, 2012). Des techniques d'extraction telles que la distillation à sec, le pressage mécanique, l'extraction par solvant et d'autres techniques d'extraction peuvent également être utilisées (Matera et al., 2023 ; Zhang et al., 2022).

Il est bien admis que l'ajout de l'huile essentielle de menthe poivrée dans la formulation du yaourt étuvé améliore son activité antioxydante (Sarabi-Jamab & Niazmand, 2009), ainsi que les caractéristiques sensorielles tout en préservant le pH du produit au cours de la conservation (Azizkhani & Parsaeimehr, 2018 ; Tita et al., 2022).

Une étude a montré que son incorporation à des doses de 0.1 et 0.2% (v/v) dans le Doogh industriel a permis d'inhiber de manière significative la croissance de *Staphylococcus thermophilus* (Abdolshahi et al., 2018) et de certaines bactéries pathogènes tels que *Escherichia coli* et *Listeria monocytogenes* (Azizkhani & Tooryan, 2016).

En outre, dans le but de protéger les composants volatiles et leurs efficacités antimicrobiennes et antioxydants certains chercheurs ont procédé à l'encapsulation de l'huile essentielle de *Mentha piperita* L., par usage de l'alginate de sodium avant son administration dans un lait fermenté appelé Kefir conservé au froid positif de 4 °C pendant une longue période de 20 jours (Tita et al., 2022).

7.1.2. Incorporation indirecte

Cette approche consiste à utiliser le végétal comme supplément dans l'alimentation des animaux laitiers pendant l'élevage. Il est bien établi que l'inclusion de la menthe poivrée dans l'alimentation des vaches laitières pendant 14 jours permet d'améliorer remarquablement le potentiel antioxydant du lait (Uegaki et al., 2001).

De leur côté (Hassan et al., 2021) ont rapporté que l'incorporation d'un mélange d'herbes composé de feuilles de menthe poivrée et de cinq autres plantes (gingembre, fruit du poivrier, écorces de cannelle, graines de *Trachyspermum ammi* et d'ail) dans l'alimentation de bufflonne à raison de 20, 30 et 40 gramme par jour par tête, pendant 10 semaines a permis d'accroître la production journalière de lait et d'améliorer le contenu du lait en matière grasse et en acides gras insaturés notamment lors d'une prise de 20 g/jour.

Tableau 9. Formes d'incorporations de *Mentha piperita* L. dans le lait et dérivés.

Formes d'incorporations	Procédés d'extractions	Doses incorporées (testées)	Produits laitiers testés	Cultures starters utilisées	Périodes de stockage	Résultats obtenus	Sources
Poudre	/	0 ; 0.1 ; 0.2 et 0.3% (P/P)	Fromage frais au lait de brebis « fromage domestique Borujerd »	/	60 jours à 4°C	-Augmentation du pH, diminution de l'acidité et de l'acceptabilité globale du produit en fonction de l'élévation de la dose de poudre de menthe dans le caillé. -Inhibition de la prolifération des coliformes, des levures et des moisissures dans le fromage supplémenté de poudre de menthe. -Amélioration de l'acceptabilité chez les panélistes du fromage à 0.2% de poudre de menthe poivrée	Noghani & Sameti (2015)
Poudre de feuilles séchées	/	0 ; 1 et 1.5% (p/v).	Lait de chamelle fermenté	- <i>S.thermophilus</i> . - <i>L. bulgaricus</i> .	Conservation à 4°C jusqu'à l'utilisation expérimentale	-Amélioration des propriétés fonctionnelles du lait fermenté supplémenté de poudre de menthe par : -Une diminution des taux de glucose plasmatique, de l'urée et de créatinine sériques chez les diabétiques. -Une amélioration des fonctions hépatiques.	Shahein et al. (2023)

Extrait aqueux	Macération de 10g de végétal dans 100 ml d'eau pendant 12 heures à température ambiante dans du méthanol (concentré à 75°)	0 et 10% (v/v)	Yaourt étuvé	- <i>Streptococcus thermophilus</i> , - <i>Lactobacillus acidophilus</i> , - <i>Bifidobacterium bifidum</i> , - <i>Lactobacillus casei</i> .	28 Jours à 4°C	-Amélioration de l'activité métabolique des bactéries du yaourt. - Amélioration de l'activité antioxydante et de l'activité anti-ACE-I. -Augmentation de la teneur en composés phénoliques (25.6 mgGEA/ml) par rapport au témoin (15.4 mgGEA/ml).	Amirdivani & Baba (2011)
Extrait aqueux	Macération de 10g de végétal dans 100 ml d'eau pendant 12 heures à 70°C	0 et 10% (v/v)	Yaourt probiotique	- <i>Lactobacillus bulgaricus</i> . - <i>Streptococcus thermophilus</i> . - <i>Lactobacillus casei</i> . - <i>Bifidobacterium longum</i> .	28 Jours à 4°C	- Diminution du nombre des <i>S.thermophilus</i> et <i>L.bulgaricus</i> , viables et <i>B. longum</i> au cours du stockage. -Augmentation du nombre de <i>L. casei</i> . au cours du stockage. -Diminution du taux de la matière sèche et amélioration du taux de protéine par rapport au témoin au 1 ^{er} jour et augmentation de la viscosité au 28 ^{ème} jour. -Détérioration des propriétés sensorielles et développement d'un gout amer après 14 jours	Akan et al. (2022a)
Extrait aqueux	Macération de 10g de végétal dans 100 ml d'eau pendant une nuit à 70°C	0 et 10% (v/v)	Yaourt probiotique	- <i>Lactobacillus bulgaricus</i> . - <i>Streptococcus thermophilus</i> . - <i>Lactobacillus casei</i> . - <i>Bifidobacterium longum</i>	28 Jours à 4°C	-Augmentation de la teneur en composés phénoliques. -Amélioration de l'activité antioxydant. -Amélioration de l'activité inhibitrice de l' α -glucosidase et de l' α -amylase chez le diabète de type 2.	Akan et al. (2022b)

Extrait aqueux	Infusion de 20 g de végétal dans 100 ml d'eau	0 ; 0.5 ; 1.0 et 1.5% (v/v)	Labneh	- <i>Streptococcus thermophilus</i> - <i>Lactobacillus bulgaricus</i>	30 jours à 6°C	-Amélioration proportionnelle de l'activité antioxydante en fonction de l'augmentation de la concentration d'extrait de menthe dans le produit. -Effet non significatif sur le taux de matière sèche et de la matière grasse. -Diminution du nombre des bactéries starters viables après 10 jours de stockage dans les produits à l'extrait de menthe. -Amélioration des caractéristiques organoleptiques des produits supplémentés d'extrait de menthe.	Nasser et al. (2017)
Extrait hydroéthanolique	Macération de 10 g de végétal dans 100 ml d'une solution hydro-éthanolique 50% ; 70% et 95% (v/v ; Ethanol/Eau) à froid (7°C) pendant 72 heures	0 et 0.025% (p/v)	Boisson laitière à base de lactosérum	/	/	-Renforcement de l'activité antioxydant de la boisson habituelle sans extrait de menthe. -Enrichissement en composés phénoliques de la boisson. -Amélioration de la qualité sensorielle de la boisson renforcée d'extrait de menthe obtenu par macération dans l'éthanol aqueux à 50% par rapport au témoin et autres yaourts.	Fischer et al. (2020)
Extrait hydro-éthanolique	Macération de 10 de végétal dans 100 ml d'une solution hydro-éthanolique (80/20 ; v/v ; Ethanol/Eau) à température ambiante pendant 6 heures	0 ; 2 ; 4 ; et 6% (v/v)	Yaourt étuvé	- <i>Lactobacillus bulgaricus</i> . - <i>Streptococcus thermophilus</i> .	21 jours à 6°C	-Augmentation du pH et diminution de l'acidité et de la viscosité en fonction de l'augmentation de la concentration d'extrait dans le yaourt. -Amélioration de la qualité sensorielle des yaourts supplémentés d'extrait de menthe.	Ait Chabane et al. (2021)

Extrait éthanolique	Macération de 10 de végétal dans 100 ml d'éthanol à température ambiante pendant 48 heures	0 ; 0.05 ; 0.1 ; 0.15 ; 0.2 ; 0.25 ; et 0.3 % (v/v)	Doogh (Boisson iranienne préparée à partir de yaourt salé)	/	30 jours à 4°C	<p>-Augmentation de l'acidité et diminution du pH selon l'accroissement de la dose d'extrait dans la boisson.</p> <p>-Pas d'impact significatif sur la teneur en matière grasse et en matière sèche.</p> <p>-Inhibition de la croissance des levures et moisissures avec l'augmentation des concentrations d'extrait ajouté.</p> <p>-Dégradation de la qualité organoleptique selon l'accroissement de la dose d'extrait ajoutée dans la boisson.</p>	Gilan, (2023)
Huile essentielle	Hydro-distillation au Clevenger	0 ; 3.33 ; 5 et 6.66 µl/ml.	Lait frais	/	15 jours à 4°C	-Fort effet inhibiteur des concentrations d'huile essentielle ajoutées sur la flore d'altération du lait.	Degnon et al. (2016)
Huile essentielle	Commerciale	0.25 ; 40 ; 70 ; 100 et 130 µg/l.	lait fermenté étuvé	<i>-Lactobacillus acidophilus</i>	21 jours à 4°C	-Diminution du nombre de cellules de <i>Lactobacillus acidophilus</i> en fonction des concentrations d'huile de menthe poivrée incorporées	Sarabri-Jamab & Niazman (2009)
Huile essentielle	Commerciale	0 et 0.5 % v/v	Yaourt probiotique	<p><i>Lactobacillus bulgaricus,</i></p> <p><i>-Streptococcus thermophilus,</i></p> <p><i>-Lactobacillus acidophilus.</i></p> <p><i>-Lactobacillus fermentum.</i></p> <p><i>Bifidobacterium Bb-12.</i></p>	28 jours à 4°C	<p>-Amélioration de l'activité antioxydant.</p> <p>-Amélioration des caractéristiques sensorielles.</p> <p>-Réduction de la viabilité des probiotiques.</p> <p>- Effet non significatif sur le pH.</p>	Azizkhani & Parsaeimehr (2018)

Huile essentielle	Commerciale	0 et 0.5 % v/v	Yaourt probiotique	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , - <i>Lactobacillus acidophilus</i> . - <i>Lactobacillus fermentum</i> , - <i>Bifidobacterium</i> Bb-12.	28 jours à 4°C	-Inhibition significative des bactéries pathogènes (<i>Escherichia coli</i> et <i>Listeria monocytogenes</i>)	Azizkhani & Tooryan, (2016)
Huile essentielle	Commerciale	0; 0.1 et 0.2 % (v/v)	Doogh industriel contaminé par <i>Staphylococcus aureus</i> (1×10 ⁵ UFC/ml)	/	7 jours à 4°C	-Inhibent de manière significative la croissance de <i>Staphylococcus aureus</i> au cours du stockage. -Inhibition maximale de <i>Staphylococcus aureus</i> en présence de 0.2 % d'huile essentielle.	Abdolshahi et al. (2018)
Huile essentielle encapsulé	Entraînement par la vapeur d'eau à l'aide de l'appareil Neo Clevenger	0 et 1 g /100 g de Kefir	Kefir	- <i>Lactococcus lactis</i> , - <i>Lactococcus cremoris</i> , - <i>Lactococcus biovar diacetylactis</i> ; - <i>Leuconostoc</i>	20 jours à 4°C	-Amélioration du potentiel antioxydant par rapport au témoin. -Amélioration des caractéristiques sensorielles par rapport au témoin -Amélioration des propriétés texturales (consistance, fermeté et cohésion) par comparaison au témoin.	Tita et al. (2022)
Feuilles de <i>Mentha piperita</i> à l'état brut	/	Alimentation des vaches laitières pendant 14 jours avec des taux d'inclusion de 0.1 et 2%	Lait frais	/	/	-Amélioration de l'activité antioxydant du lait.	Uegaki et al. (2001)
Mélange brut de feuilles de <i>Mentha piperita</i> , avec les feuilles de gingembre, feuilles de cannelle, graines de <i>Trachyspermum ammi</i> et ail.	/	Alimentation de bufelonne pendant 10 semaines. à raison de 0, 20, 30 et 40 grammes par jour par tête	Lait frais	/	/	-Accroissement de la production journalière du lait. -Amélioration de la composition du lait en matière grasse et en acides gras insaturés particulièrement pour une dose de 20 g/tête/jour.	Hassan et al. (2021)

7.2. Effets et mécanismes d'action des extraits de *Mentha piperita* L. dans la préservation et l'amélioration de la qualité des laits fermentés

Les produits laitiers fermentés forment une matrice excellente pour l'incorporation des extraits de plantes médicinales dont *Mentha piperita* L. La supplémentation de ces produits en extrait de menthe poivrée permet de renforcer leur contenu en composés bioactifs et par conséquent améliorer leur pouvoir antioxydant, ainsi que leurs propriétés sensorielles et nutritionnelles tout en conférant au produit une meilleure stabilité physicochimique et microbienne au cours de la conservation (**Ramos et al., 2017 ; Granato et al., 2018 ; Plaskova & Mlcek, 2023**).

7.2.1. Potentiel antimicrobien

Les extraits de *Mentha piperita* L. ont montré des effets antimicrobiens très efficaces dans le contrôle de la croissance des bactéries pathogènes et des moisissures de contamination du lait et dérivés dont les produits laitiers fermentés, contribuant ainsi à prolonger leurs durées de conservation et garantir une meilleure innocuité microbienne.

En effet, il est bien connu que *Listeria monocytogenes* est une bactérie responsable de graves maladies souvent mortelles telles que la méningite, l'endocardite et la septicémies (**Cho et al., 2020a**). C'est aussi l'un des principaux agents pathogènes angoissant pour l'industrie alimentaires notamment des produits laitiers prêts à la consommation (**Martín et al., 2022**). **Azizkhani et Tooryan (2016)** ont démontré un fort pouvoir antibactérien exercé par l'huile essentielle de menthe poivrée ajouté au yaourt contre ce germe pathogène. Toutefois, ces mêmes auteurs ont constaté que cet effet antibactérien a été moins sévère vis-à-vis du germe *E. coli* qui est une bactérie à Gram négatif par comparaison à la *Listeria monocytogenes* à Gram positif. Cette résistance des bactéries Gram négatif, découle de leur structure membranaire caractéristique comportant deux membranes l'une interne et l'autre externe riche en lipopolysaccharides capable de faire face au passage des molécules hydrophobes (**Antolak et al., 2018; Hussein et al., 2020 ; Kachur & Suntres, 2020**). Cette conformation structurale peut aussi empêcher toute éventuelle dépoliarisation membranaire pouvant conduire à la formation de pores et augmenter la perméabilité membranaire (**Ebbensgaard et al., 2018 ; Hussein et al., 2020**). A l'opposé, les bactéries Gram positif sont protégés par une membrane épaisse de peptidoglycane qui n'est pas tout de même assez serrée pour freiner le passage de molécules de taille réduites dans le milieu intracellulaire (**Silhavy et al., 2010; Kachur & Suntres, 2020**).

L'huile essentielle de menthe poivrée a révélé aussi une aptitude antimicrobienne notable à inhiber le développement de *Staphylococcus aureus* dans une boisson laitière fermentée produite traditionnellement en Iran à partir d'un yaourt salé appelé "le Doogh" (**Abdolshahi et al., 2018**). De plus, l'ajout de l'extrait éthanolique de menthe poivrée semble conféré également au Doogh une activité antimicrobienne significative, notamment contre les levures et les moisissures permettant ainsi une meilleure stabilité du produit sur une période de réfrigération (4°C) de 30 jours. Ce pouvoir antimicrobien s'est avéré même supérieur à celui exercé par la Natamycine (antibiotique généré par la bactérie *Streptomyces natalensis*) à la dose de 10 ppm utilisée comme agent conservateur en industrie alimentaire (**Gilan, 2023**).

De plus, une meilleure qualité hygiénique du Labneh, une variété de yaourt concentré et conservée pendant 20 jours de stockage à 6°C a été obtenue par l'incorporation d'une faible dose de 0.5% (v/v) d'extrait aqueux de menthe poivrée. L'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., n'a laissé proliférer aucune cellule de levure ou de moisissure dans le produit pendant toute la période de stockage à 6°C. Au contraire, un nombre de 4×10^2 UFC/g de ces microorganismes ont été détectés dans le Labneh non traité après seulement 10 jours de conservation à la même température (Nasser et al., 2017).

Par ailleurs, outre les microorganismes pathogènes et d'altération, l'effet antimicrobien des extraits de menthe poivrée s'avèrent capables d'affecter éventuellement la croissance des bactéries d'intérêts technologiques et/ou probiotiques des laits fermentés. En effet, l'ajout d'extrait aqueux (Akan et al., 2022a) et de l'extrait hydroéthanolique (Ait Cahabane et al., 2021) de *Mentha piperita* L. au yaourt s'avèrent réduire relativement le nombre des bactéries starters spécifiques ; *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

Les extraits des plantes médicinales selon leurs contenus en composés bioactifs peuvent, néanmoins, agir différemment vis-à-vis de la croissance microbienne (Hervert-Hernández et al., 2009). A cet égard, Akan et al. (2022a) ont rapporté que la supplémentation d'un yaourt probiotique avec l'extrait aqueux de menthe poivrée stimule remarquablement la croissance de *Lactobacillus casei* mais inhibe celle de *Bifidobacterium longum*.

L'activité antimicrobienne des huiles essentielles ou des extraits de *Mentha piperita* L. est étroitement liée à leurs contenus en composés phytochimiques dont principalement les composés phénoliques, tels que les flavonoïdes, (Inarejos-Garcia et al., 2023) ainsi que les composés volatils tels le menthol et le menthone (Iskan et al., 2002 ; Lim et al., 2018). Les effets antimicrobiens exercés par les composés bioactifs peuvent être expliqués par des mécanismes multiples à la fois complexes et variables, selon le genre et l'espèce du micro-organisme concerné et de la composition de l'extrait en principaux composés secondaires qui dépend de la plante (état physiologique, variation génétique et stade d'évolution au moment de la récolte) (Renoz et al., 2022), des traitements auxquels elle a été soumise (méthodes de séchage, d'extraction et d'analyse), ainsi que de la saison de récolte (Rohloff et al., 2005 ; Mahendran & Rahman, 2020). Même si les mécanismes d'action antimicrobienne de ces composés bioactifs vis-à-vis des microorganismes n'ont pas encore été complètement élucidés, les plus connus peuvent être résumés comme suit :

-Perturbation des membranes cellulaires : les composés phénoliques sont susceptibles de se fixer aux membranes bactériennes par leurs groupes hydroxyles et leur accumulation dans la bicouche lipidique peut soit perturber l'interaction de certaines lipoprotéines membranaires ainsi que la perméabilité cellulaire engendrant par voie de conséquence une fuite des constituants cytoplasmiques puis une mort de la cellule, ou peut détruire carrément la bicouche phospholipidique, entraînant ainsi à une altération des fonctions physiologiques de la cellule et une destruction du microorganisme (Zhang et al., 2019b ; Lobiuc et al., 2023 ; Weng et al., 2024). Cependant, les bactéries gram-positif sont plus sensibles à cette activité antibactérienne de par leur structure simple dépourvue de membrane externe et dont la couche de peptidoglycane,

malgré son épaisseur (pouvant atteindre 30 nm) permet la fixation des composés phénoliques et facilite leur passage à la membrane plasmique ou ils peuvent se lier à celle-ci par des molécules d'acide lipotéichoïque (Salvador, 2018). En revanche, les bactéries Gram négatif sont dotées d'un système membranaire complexe qui leur confère une plus grande résistance aux composés phénoliques ou autres molécules antibactériennes. Ce système comprend deux membranes lipidiques séparées par une couche mince (d'environ 3 nm) de peptidoglycane. De plus, des porines formant des pores non spécifiques permettant le passage des petites molécules sont insérées dans la membrane externe. Cette dernière comporte aussi des lipopolysaccharides exposés à l'extérieur ce qui constitue une vraie barrière contre la diffusion passive des composés hydrophobes à travers les porines (Brown et al., 2015 ; Salvador, 2018).

- **Réduction du niveau d'ATP** : outre le déséquilibre entre l'ATP intra et extra cellulaire occasionné par la perturbation de la membrane bactérienne suite à une fuite de l'ATP et du phosphate inorganique vers le milieu extracellulaire, les composés phénoliques interviennent aussi dans la diminution du taux de l'ATP par inhibition de l'ATPase membranaire inhibant ainsi la croissance bactérienne (Nazzaro et al., 2013).

-**Altération de la transcription de l'ADN** : Les polyphénols seuls ne peuvent pas perturber l'intégrité de l'ADN bactérien ; mais leur réactions avec le peroxyde d'hydrogène semble modifier l'expression des protéines bactériennes, ce qui entraîne des dommages importants et une transcription anormale de l'ADN (Piekarska-Radzik & Klewicka , 2021 ; Lobiuc et al., 2023).

-**Action anti-Quorum sensing** : Le Quorum Sensing est un système de communication entre les bactéries au sein d'une communauté bactérienne, basé sur la sécrétion de petites molécules de signalisation chimique appelée auto-inducteurs. Lorsque la population bactérienne atteint une certaine densité appelé « Quorum » l'accumulation des auto-inducteurs entraîne l'activation ou la répression de gènes régulateurs de diverses activités entre autres : virulence, sporulation, formation de biofilm ou changement de phénotype (Mion et al., 2019 ; Koudoro et al., 2023). Les composés bioactifs des végétaux, y compris les composés phénoliques peuvent inhiber la multiplication des cellules bactériennes et/ou réduire leur virulence par perturbation des signaux du Quorum en agissant soit comme des molécules compétitives aux auto-inducteurs en se fixant sur des récepteurs spécifiques ceux-ci, lorsqu'ils présentent des similitudes structurelles à ces derniers, ce qui interrompt le passage des signaux ; soit, dans le cas échéant les agents antibactériens peuvent se lier à des sites autres que ceux des auto-inducteurs et interférer les signaux selon différents mécanismes dont : dissimulation des signaux, altération des sites des récepteurs et inhibition d'enzymes (Dimitrova et al., 2023).

D'autres mécanismes pouvant être impliqués dans l'activité anti bactériennes ont été rapportés par la littérature tels l'inhibition des enzymes cellulaires par fixation à ceux-ci (Lobiuc et al., 2023), réduction de la synthèse protéique (Martinengo et al., 2021), génération du peroxyde d'hydrogène (Tsushima et al., 2000 ; Cushing et al., 2011), extinction de l'oxygène, dénaturation des protéines et induction d'un stress oxydatif par les espèces réactives de l'oxygène (ROS) (Rout et al., 2022).

7.2.2. Potentiel antioxydant

Le stress oxydatif dans l'organisme humain est à l'origine de diverses pathologies chroniques dont le cancer, le diabète, l'hypertension artérielle, les maladies neurogénéralisées et le syndrome de détresse respiratoire aiguë (**Birben et al., 2012**). Le déséquilibre entre les radicaux libres et les diverses espèces réactives à l'oxygène dans un système alimentaire dont notamment les produits laitiers est susceptible aussi d'altérer leurs propriétés nutritionnelles et organoleptiques (**Citta et al., 2017**), d'où la nécessité de procéder au cours de leurs transformation à un apport adéquat en antioxydants comme additifs pouvant garantir leur stabilité oxydative, préserver leur qualité et prolonger leur durée de vie tout en offrant aux consommateurs des produits sûrs capables de promouvoir leur santé (**Fardet & Rock, 2018**).

Il est bien connu que les produits laitiers fermentés sont dotés de propriétés oxydatives provenant des molécules bioactives qu'ils renferment en diverses proportions, à savoir les caséines, les peptides, les vitamines (C, D, E et provitamine A) ainsi que certaines enzymes antioxydants (catalase, glutathion peroxydase et superoxyde dismutase) (**Fardet et al., 2018**). Cette activité antioxydante dépend à la fois de la composition et de l'origine du lait utilisé dans la fabrication de ces produits ainsi que des souches bactériennes intervenant dans le processus de fermentation et qui en dégradant les protéines du lait produisent des peptides bioactifs ayant un fort pouvoir antioxydant (**Stobiecka et al., 2022**). Cependant, ce pouvoir antioxydant tend à diminuer au cours du stockage des produits affectant par voie de conséquence la composition particulière des lipides dont les acides gras polyinsaturés jugés vulnérables à l'oxydation au cours des différentes étapes du processus de fabrication et de conservation ; ceci entraîne une dégradation de la qualité nutritionnelle, organoleptique et sanitaire des produits (**Abd El-Aziz et al., 2023**).

En examinant les propos de plusieurs auteurs, la supplémentation aux produits laitiers dont les laits fermentés, d'huiles essentielles ou d'extraits de *Mentha piperita* L., comme alternative naturelle aux antioxydants synthétiques semble améliorer leur qualité pendant le stockage. En effet, l'ajout de l'extrait aqueux de menthe poivrée a permis d'améliorer considérablement le potentiel antioxydant du yaourt (**Amirdiva & Baba, 2011 ; Akan et al., 2022b**) et de Labneh (**Nassar et al., 2017**) par rapport aux témoins, respectifs. En outre, l'enrichissement par l'huile essentielle de menthe poivrée a également été suspecté promouvoir le potentiel antioxydant du yaourt (**Azizkhani and Parsaeimehr, 2018**), du lait fermenté le Kefir (**Tița et al., 2022**) et du Doogh qui est un breuvage laitier fermenté (**Abdolshahi et al., 2018**). Plus encore, dans une étude comparative entre les yaourts brassés additionnés d'extraits éthanoliques de trois plantes différentes (*Mentha piperita* L., *Hibiscus sabdariffa* L., et *Ocimum basilicum* L.), **Tomar et al. (2021)** ont rapporté une meilleure activité antioxydante démontrée par les échantillons fabriqués à base d'extrait de menthe poivrée durant 28 jours de stockage au froid positif de 4°C.

Cette amélioration du potentiel antioxydant des produits enrichis en poudre et extraits de menthe poivrée est essentiellement due aux composés phénoliques hydrophiles contenus dans les extraits de la plante (**Akan et al., 2022b**) et qui peuvent agir selon plusieurs mécanismes dont les plus répandus consistent en un transfert d'atome d'hydrogène : lorsque le potentiel de réduction des composés phénoliques est inférieur à celui du radical libre, ils cèdent un atome d'hydrogène à ce

dernier qui devient alors neutre et stable. Cette capacité de donner d'hydrogène est favorisée par la structure d'anneaux benzéniques des composés phénoliques et dépend du nombre de leurs groupes hydroxyles et leurs positions (Shahidi & Ambigaipalan, 2015). D'autres mécanismes peuvent intervenir tels que : la chélation des ions métalliques (Leopoldini et al., 2011), le piégeage d'oxygène singulier (Galano et al., 2016) et le transfert d'atome d'un électron par perte de proton autrement dit les composés phénoliques donnent d'abord un proton au radical libre puis celui-ci qui est devenu anion perd un électron pour devenir en fin stable (Zeb, 2020).

En somme, les antioxydants naturels tels les composés phénoliques de *Mentha piperita* L., sont capables d'éliminer les radicaux libres en (1) piégeant les ROS ou leurs précurseurs ; (2) en inhibant la formation des ROS ; (3) en bloquant l'action de certaines enzymes ; (4) et en chélatant les ions métalliques impliqués dans la production des radicaux libres (Uttara et al., 2009 ; Vladimir-Knežević et al., 2012).

7.2.3. Préservation des propriétés physicochimiques et sensorielles

L'acidité des produits laitiers fermentés est un élément essentiel influençant à la fois leurs durées de conservation et leurs acceptabilités par les consommateurs (Al-Otaibi et El Demerdash, 2008 ; Montemurro et al., 2023). Néanmoins, une forte acidification résultant d'une production excessive de lactate a des répercussions négatives sur la durée de vie du produit ainsi que sa qualité organoleptique (Zourari et al., 1992 ; Guimont et al., 1994) et nutritionnelle en conséquence d'un risque de synérèse intense et une fuite importante de protéines dans le lactosérum (Undugoda & Nilmini, 2019). A cet égard, les paramètres physicochimiques semblent évoluer différemment dans les produits laitiers fermentés selon le type d'extrait de menthe poivrée ajouté dépendant principalement de la nature et de sa richesse en principaux composés bioactifs constitutifs de la plante. A ce propos, deux études ont bien montré que les extraits éthanoliques et hydroéthanoliques de *Mentha piperita* ont entraîné une réduction de l'acidité titrable du Doogh (Gilan, 2023) et du yaourt étuvé (Ait Chabane et al., 2021) au cours de 21 à 30 jours de conservation au froid positif de 4 et 6 °C. Au contraire, l'ajout d'extrait aqueux de cette plante au Labneh (Nasser, et al., 2017) et au yaourt au cours de 28 à 30 jours de stockage à 4°C selon (Amirdivani & Baba, 2011) a été marqué par une hausse des valeurs de l'acidité titrable et une diminution de celle du pH des produits, tandis qu'aucun effet significatif sur ces deux paramètres dans un yaourt probiotique conservé pendant 28 jours à 40°C n'a été rapporté par (Akan et al., 2022a).

De plus, d'après Ait Chabane et al. (2021) l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. a pour effet aussi de réduire la viscosité, l'adhésivité et la cohésivité du yaourt notamment lorsqu'il est ajouté à une dose sévère de 6% (v/v), contrairement aux constatations de Akan et al. (2022a) qui ont révélé une amélioration de la viscosité d'un yaourt probiotique par l'ajout d'extrait aqueux de menthe poivrée à une concentration de 10% (v/v). Au fait, la viscosité et la fermeté du gel de cette classe des produits laitiers est liée à plusieurs facteurs dont la production des exopolysaccharides par les bactéries lactiques cultivées dans les produits (Cerning 1995 ; Laws et al. 2001), le contenu en matière sèche du lait utilisé comme matière première (Schkoda et al., 1998; Van marle, 1998) et au traitement thermique subi au cours du processus de fabrication (Kessler, 1998 ; Ait Chabane et al., 2021).

Par ailleurs, la menthe poivrée de par son contenu en composés aromatiques odorants telles que le menthole, le menthone et le limonène (**Djenane et al., 2012**) s'avère améliorer la qualité sensorielle de certains laits fermentés dont les yaourts particulièrement lorsqu'ils sont additionnés à de faibles doses. En effet, l'extrait hydroalcoolique de *Mentha piperita* additionné à une faible concentration de 0.1% au yaourt brassé (**Tomar et al., 2021**) ainsi que l'extrait aqueux de cette même plante additionné à 1.5% au Labneh (**Nasser, et al., 2017**) ont exercé des effets positifs sur la qualité sensorielle des produits du point de vue surtout du gout, de la saveur, de la flaveur et de l'odeur dont les sensations agréables chez les panélistes ont été nettement améliorées par comparaison au témoin.

7.2.4. Amélioration de la valeur nutritionnelle

En plus des composés phénoliques, la menthe poivrée a été également mentionnée comme étant source de vitamines, de macro-éléments, d'oligo-éléments et d'acides aminés essentiels (**Berdowska et al., 2013**). **Mainasara et al. (2018)** ont rapporté que cette plante à l'état séchée renferme dans sa composition des lipides (5%), des protéines (7.69), des fibres alimentaires (9%) ainsi que de nombreux minéraux tels que le calcium (0.045), le potassium (72%), le sodium (13%), le phosphore (0.32%) et le magnésium (0.045%).

A ce jour, très peu d'études ont été menées et rapportées par la littérature en ce qui concerne l'effet du renforcement des produits laitiers ferments par les principaux constituants chimiques outre les composés phénoliques de cette plante incorporée à l'état frais, séché ou même sous forme d'extrait. Néanmoins, **Akan et al. (2022a)** en examinant le contenu en protéines et en matière grasse du yaourt additionné d'extrait aqueux de cette plante à 10% (v/v) ont constaté une légère augmentation de 15% du taux de protéines par rapport au témoin tandis que cette ajout n'a pas influencé le taux de lipides qui est resté stable dans le produit. Dans ce contexte (**Gilan, 2023**) ont rapporté aussi que la supplémentation au Doogh par l'extrait éthanolique de *Mentha piperita* L. n'exerce aucun impact significatif sur le taux de matière grasse et de matière sèche du produit.

8. Considérations à prendre en charge pour la mise au point d'un additif naturel à base d'extraits de plantes dans les produits laitiers fermentés

En raison de leur efficacité prouvée dans la préservation des produits laitiers grâce à leurs effets antimicrobiens et antioxydants, l'usage des extraits des végétaux en tant qu'additifs naturels a suscité au cours de ces dernières années un vif intérêt de la part des industriels de la filière lait et dérivés dont l'utilisation a connu un large essor dans particulièrement les produits laitiers fermentés (**Stanislav et al., 2019**).

Néanmoins, l'application des extraits de plantes dans la fabrication des produits laitiers en général est sujette à certaines contraintes susceptibles de limiter leur efficacité ou de les rendre à haut risque vis-à-vis de la santé du consommateur. En conséquence, certaines prédispositions et exigences doivent être impérativement prises en considération pour une meilleure utilisation des extraits des plantes comme additifs naturels dans les produits laitiers fermentés tels les yaourts ou laits fermentés destinés à l'alimentation humaine.

8.1. Evaluation de la composition des extraits bioactifs

Les effets des extraits de plantes sur les propriétés (physicochimiques, microbiologiques organoleptiques) des laits fermentés auxquels ils sont ajoutés sont très hétérogènes en fonction de leur composition phytochimique, elle-même influencée par plusieurs facteurs liés à la plante (espèce végétale, état physiologique, variation génétique et stade d'évolution au moment de la récolte) (Renoz et al., 2022) et aux conditions environnementales dont le climat et l'emplacement géographique (Brahmi et al., 2022). De plus, les phénomènes d'antagonisme ou de synergie d'effets entre les composants du même extrait ou des constituants de l'extrait avec ceux de la matrice laitière est aussi un facteur important à prendre en considération dans l'estimation de l'effet globale d'un extrait étant donné que ces interactions sont susceptibles d'altérer ses activités biologiques ; antimicrobiennes et/ou antioxydante. En effet, une réduction du pouvoir antioxydant de l'extrait aqueux du thé riche en composés phénoliques a été constatée en présence de fortes concentrations (0.1 et 0.8 mg/100g) de thiamine (Piechocka et al., 2019) ; alors que certains composés phénoliques avec l' α -tocophérol ont montré un effet synergique (Murakami et al., 2003). Plus encore, selon Al-Turki et al. (2008) les extraits aqueux de marjolaine, d'origan, de réglisse et de sauge ont exercé un effet antibactérien contre *Bacillus subtilis* et *Escherichia coli* d'une manière plus importante dans le lait frais en comparaison au Labneh (produit laitier fermenté) en raison d'une plus forte teneur en protéines et en matières grasses contenue dans le Labneh offrant ainsi une bonne protection vis vis des micro-organismes.

Ainsi, mettre en lumière la composition des extraits des plantes à utiliser comme additifs alimentaires en procédant au screening de leurs principaux constituants avec une meilleure compréhension des interactions possibles entre leurs composants bioactifs et la matrice alimentaire concernée est une étape préliminaire importante qui permet de les orienter vers les objectifs ciblés en estimant tous éventuels effets de leurs adjonctions sur la qualité globale du produit. Plus encore, une meilleure connaissance de la composition des extraits des plantes permet d'optimiser les concentrations à utiliser, dans la mesure où un sous dosage réduit l'activité fonctionnelle de l'extrait alors que des doses excessives se traduisent généralement par des altérations de la qualité du produit fini en terme de texture, de saveur et de la viabilité des bactéries spécifiques et bénéfiques. Dans ce contexte, une altération des paramètres organoleptiques ainsi qu'une forte activité inhibitrice de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* ont été constatés dans des yaourts étuvés additionnés d'extrait hydroalcoolique de *Thymus vulagris* L. (Khelifi et al., 2018) à de fortes concentrations de 8% (v/v).

Par ailleurs, il est bien admis qu'un rendement considérable et une extraction sélective des principaux composés bioactifs des plantes sont surtout conditionnés par le choix d'une méthodologie d'extraction appropriée et du solvant d'extraction adéquat qu'il faut également prendre en considération lors de la mise au point d'un additif à base d'extrait de plante médicinale (Awad et al., 2021 ; Plaskova et al., 2023) .

De plus, il convient de noter qu'au cours du processus de préparation des additifs d'origine végétale, d'autres molécules ou composés bioactifs se trouvant à des concentrations plus ou moins élevées dans l'extrait peuvent interférer et perturber l'opération conduisant à des résultats

inattendus, d'où la nécessité de procéder parfois à une étape de purification des principaux composés d'intérêts dont la mise au point à l'échelle industrielle se heurte tout de même à la contrainte du coût de revient relativement élevé (Folim, 2015).

8.2 Aspects réglementaires et de sécurité

Par définition les additifs alimentaires sont des composés ou des extraits ajoutés à une denrée alimentaire pour des fins technologiques. D'après l'EFSA (Agence européenne de sécurité alimentaire) ils ne doivent constituer aucun préjudice sur la santé du consommateur lorsqu'ils sont ingérés (Faustino et al., 2019).

Cependant, l'usage de l'extrait de plante comme additif alimentaire peut engendrer des effets néfastes plus ou moins graves sur la qualité du produit et la santé du consommateur lorsque il est issu surtout d'une plante déjà contaminée au cours de sa culture aux divers polluants environnementaux (métaux lourds, pesticides, fongicides, mycotoxines, résidus de fertilisation ou de traitement chimique...etc.), d'où l'importance de procéder comme opération unitaire avant l'extraction des principaux composés bioactifs au lavage de la plante afin de réduire de sa charge en micro-organismes indésirables et en dépôts de métaux lourds (tels que le plomb, l'aluminium...etc.) néfastes pour la santé (Plaskova et al., 2023).

Le séchage de la plante est aussi une étape qui s'impose lors de l'élaboration de l'extrait d'une plante comme additif alimentaire puisqu'il permet de mieux conserver la plante par élimination de l'eau constitutif nécessaire au bon fonctionnement d'enzymes d'altérations et au développement des micro-organismes indésirables (Roshanak et al., 2016).

En outre, afin d'éviter toute éventuelle contamination des végétaux par les métaux lourds, il est conseillé de procéder à la cueillette des plantes médicinales dans des régions où les activités industrielles et routières sont faibles (Caldeirao et al., 2021 ; Ahmed et al., 2022). Une étape d'évaluation des risques est également requise afin d'identifier la plante et déterminer sa teneur en substances chimiques toxiques et/ou indésirables avant son utilisation comme additif (Plaskova et al., 2023).

Par ailleurs, l'usage des additifs naturels dans l'industrie alimentaire doit être régi par une réglementation nationale et internationale. Dans les pays de l'union européenne (l'UE) tout additif alimentaire doit répondre aux exigences du règlement CE N° 1333/2008 de la Commission Européenne qui stipule que l'usage d'un additif alimentaire n'est autorisé que lorsque ce dernier figure dans la liste des additifs autorisés. Dans le cas d'un nouveau additif, une demande d'autorisation doit être d'abord remise à l'EFSA, qui ne donne son avis qu'après une démarche d'évaluation de sa sûreté qui ne doit présenter aucun effet secondaire (métabolique, chronique, génotoxique ou cancérigène), puis une dose sans effet observable (DSEO) et une dose journalière admissible (DJA) de l'additif seront déterminées avant qu'il ne soit inscrit sur la liste d'additif autorisé (Faustino et al., 2019). Aux états Unis, pour la mise sur le marché d'un nouveau additif alimentaire une demande doit être soumise à la FDA (Food and Drug Administration). L'additif doit subir ensuite un examen par des experts qualifiés, formés

scientifiquement ou ayant une expérience suffisante pour évaluer sa sécurité, puis s'il s'agit d'une substance sûre il sera en fin déclaré GRAS (Generally Recognised As Safe).

Selon la réglementation de la FDA un additif alimentaire peut être déterminé GRAS en se basant soit sur des procédures purement scientifiques, soit sur une utilisation courante et saine dans les aliments avant 1958 sans avoir engendré aucun effet néfaste (**Lemke et al., 2022**).

8.3. Absorption, métabolisation et biodisponibilité

Le groupe biochimique le plus important chez les végétaux et le plus abondant dans les extraits de plantes médicinales en particulier est celui des composés phénoliques dont la présence dans les aliments permet non seulement la préservation de ceux-ci pour de longue durée de conservation ; mais leur offre aussi des propriétés bioactives intéressantes leurs permettant de promouvoir la santé du consommateurs grâce à leurs effets préventifs voir même thérapeutiques contre diverses pathologies tels que le cancer, les maladies cardiovasculaires, l'obésité et les troubles neurodégénératifs (**Sik et al., 2022**).

En nutrition préventive il est essentiel de connaître le comportement et le devenir des composés phénoliques dans l'organisme après ingestion, ce qui permettrait de mettre l'accent sur leurs effets potentiels dans le bien-être du consommateur.

8.3.1. Absorption intestinale

Initialement, au niveau de l'estomac le pH acide (pH de 1) permet la libération de la majorité des composés phénoliques de leurs matrices alimentaires et entraîne l'hydrolyse de certains d'entre eux (**Câmara et al., 2020**). Arrivées dans l'intestin grêle les aglycones tels que les flavanols sont absorbés par diffusion passive, tandis que la majorité des polyphénols se présentant sous formes de glycosides ou de molécules plus complexes (esters ou polymères) doivent d'abord être hydrolysés par des enzymes intestinales ou par le microbiote intestinale avant leur absorption (**Bié et al., 2023**), parmi lesquelles la lactase phloridzine hydrolase de la bordure en brosse intestinale qui est une glucosidase capable de catalyser l'hydrolyse des glucosides en libérant des aglycone qui seront alors absorbés par simple diffusion (**Achat, 2013**).

Les composés phénoliques non absorbés dans l'intestin grêle rejoignent le colon. A ce niveau ils subissent une dégradation par la microflore colique ce qui permettrait une simplification de leur structure (**Mosele et al., 2015 ; Shahidi & Peng, 2018**), et à leur tour les polyphénols vont exercer un effet prébiotique en modulant l'équilibre du microbiote intestinale par l'inhibition du développement des bactéries pathogènes telles que *Escherichia coli* et *Clostridium.Sp* tout en favorisant la croissance des espèces bactériennes bénéfiques à la santé humaines dont notamment *Lactiplantibacillus* et *Bifidobacterium* (**Lippolis et al., 2023**), contribuant ainsi à l'amélioration de la production de certaines vitamines indispensables dont la vitamines B et K (**Ramakrishna, 2013 ; Shahidi & Peng, 2018**), d'acides gras à courtes chaînes et des acides aminés à chaînes ramifiées (**Lippolis et al., 2023**)(Figure 7).

8.3.2. Métabolisation

Après leur absorption, les polyphénols sont conjugués dans les entérocytes et les hépatocytes. Ils sont soumis à trois types de réactions à savoir la glucuronidation, la méthylation et la sulfatation, il en résulte des composés plus hydrophiles ce qui facilite leur élimination urinaire

(Crozier et al., 2010 ; Bié et al., 2023). Une fraction des composés phénoliques conjugués peut aussi être sécrétés du foie dans la bile et revenir dans l'intestin grêle pour déconjugaison ou passage dans le côlon où ils seront métabolisés par la flore intestinale ou excrétés dans la matière fécale (Donovan et al., 2001) (figure 7).

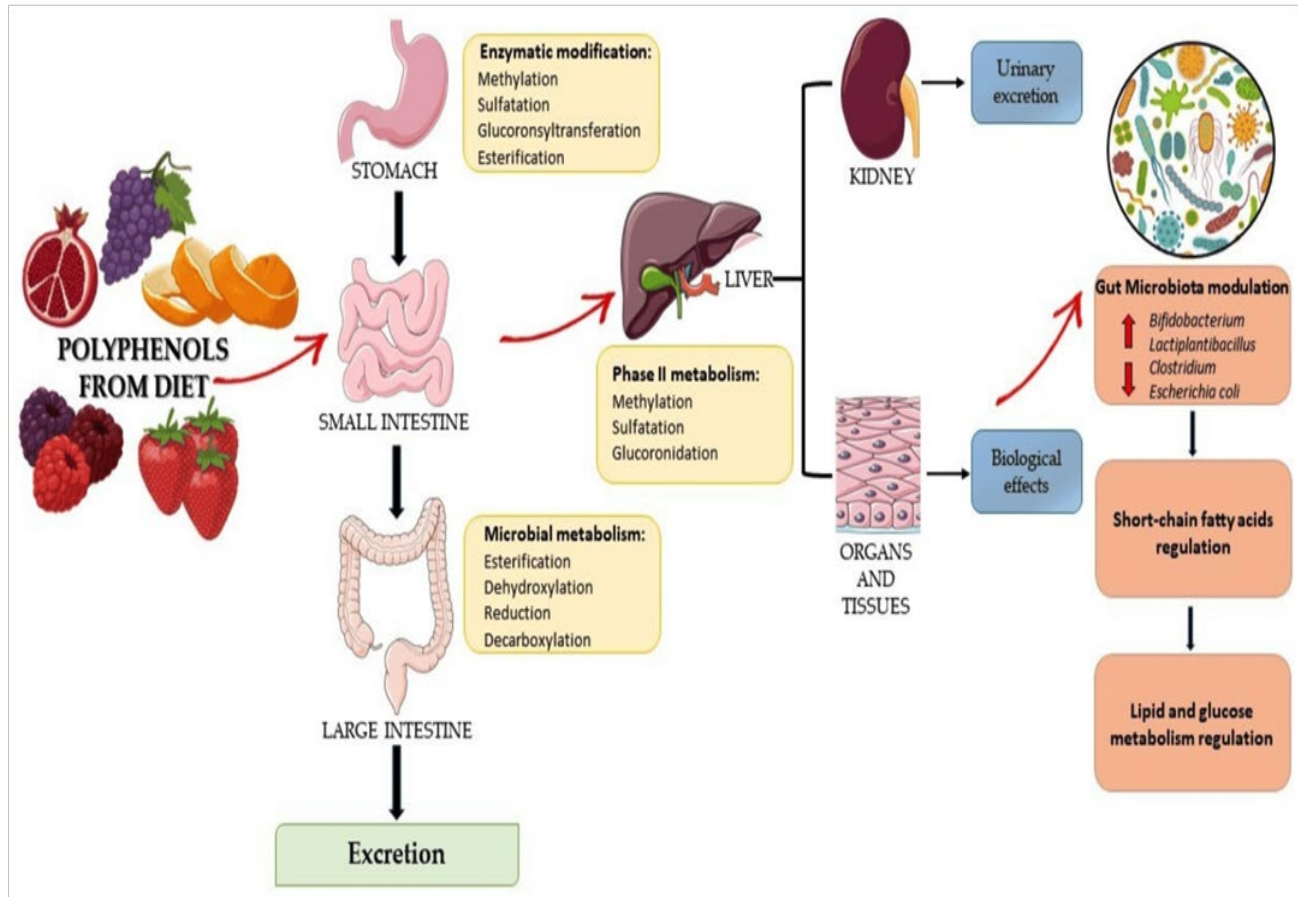


Figure 7. Métabolisation des composés phénoliques et effets sur le microbiote intestinale et la santé du consommateur (Lippolis et al., 2023).

8.3.3. Biodisponibilité et bioaccessibilité :

Les activités biologiques des composés phénoliques sont étroitement liées à leur métabolisme et leur absorption intestinale (bioaccessibilité), ainsi qu'au taux de ces composés disponibles à être utilisés par l'organisme (biodisponibilité) (Lippolis et al., 2023).

La bio-accessibilité est définie comme étant la quantité d'un nutriment ou d'un composé ingéré disponible à être absorbée dans l'intestin après digestion. Elle dépend de la quantité des composés phénoliques relâchés par la matrice alimentaire au cours du passage dans le système digestif, de leur stabilité digestive et de l'efficacité de l'absorption intestinale (Hedren et al., 2002 ; Bié et al., 2023). La structure du composé phénolique et les interactions établies avec d'autres macromolécules de la matrice alimentaire sont autant de facteurs pouvant influencer aussi cette bioaccessibilité (Lippolis et al., 2023).

La biodisponibilité à son tour correspond à la fraction d'un composé phénolique pouvant atteindre la circulation sanguine après avoir été absorbée et métabolisée, pour être transportée vers les organes cibles au sein des quelles la molécule peut agir (**Porrini et Riso, 2008**). Toutefois, tout au long du système gastro-intestinal le taux des composés phénoliques absorbés est très faible et n'excède guère une proportion de 10% de la matrice alimentaire, en raison de leur sensibilité aux changements du pH lors du passage de la phase gastrique (pH 1 à 4) à la phase intestinale (pH 6 à 7.5) ; il en résulte souvent malgré la forte bio-accessibilité une faible biodisponibilité métabolique de ces composés bioactifs (**Câmara et al., 2020**).

8.4. Considérations relatives aux coûts

D'un point de vue économique, les conservateurs synthétiques restent bon marché (**Barberis et al., 2018**) par rapports aux composés bioactifs naturels des plantes vu le coût d'extraction élevé qui constitue un obstacle de taille limitant leur utilisation à large échelle dans le secteur agroindustriel. En effet, plusieurs facteurs interviennent dans l'élévation du coût de production des conservateurs naturels, tels que la composition diversifiée de la matrice végétale et les structures variables des composés phénoliques qui rend difficile d'établir un protocole standard permettant d'extraire tous les composés bioactifs ciblés et implique l'usage de volumes importants de solvants notamment lors de la mise en œuvre de méthode d'extraction conventionnelles (telles que la macération, la percolation et l'extraction Soxhlet) nécessitant aussi des temps d'extraction longs, et dans certains cas des températures élevées ce qui peut même provoquer une dégradation partielle des polyphénols (**Oforu et al., 2020**). En outre, l'extraction de ces métabolites est conditionnée par un approvisionnement constant en matière végétale qui dépend de plusieurs facteurs dont le changement des conditions climatiques et l'emplacement géographique qui sont des facteurs déterminant de la qualité et la quantité des substances bioactives naturelles à produire ; ce qui nécessiterais des dépenses encore supplémentaires (**Amara, 2017**).

Toutefois, pour remédier à cette situation et amortir les couts de production d'additifs naturels des plantes médicinales, la mise en œuvre de nouvelles techniques d'extraction semble nécessaire. Ces techniques telles l'extraction assistée par micro-ondes et enzymes, l'extraction par champ électrique pulsé, l'extraction assistée par ultrasons et micro-ondes, l'extraction simultanée par ultrasons et micro-ondes, l'extraction par fluide supercritique et sous pression sont plus efficaces que les méthodes conventionnelles et présentent comme avantage principal d'avoir des coûts opérationnels et énergétiques plus faibles nécessitant des volumes de solvants réduits et des temps d'extraction plus courts (**Ameer et al., 2017; Asofie et al., 2019 ; Oforu et al., 2020**)

Par ailleurs, malgré les couts de production élevés comparativement aux additifs synthétiques, les additifs naturels des extraits de plantes présentent en plus de leurs aptitudes à améliorer la conservation des aliments comme autres avantages des effets très bénéfiques à la santé permettant de guérir ou prévenir plusieurs pathologies graves dont le cancer ainsi que les maladies cérébrales et cardiovasculaires (**Carocho et al., 2014**). Leur usage en industrie alimentaire visant à produire des aliments fonctionnels semble être très rentable étant donné qu'ils sont moins onéreux et nécessitent un temps de production plus court par rapport à la fabrication d'un médicament. Ainsi, de nos jours, plusieurs entreprises de renommées

mondialement telles « Nestlé » et « Danone » consacrent une partie importante de leur investissement de sorte que les produits laitiers occupent une place de choix sur tous le marché des aliments fonctionnels (Siró et al., 2008 ; Caleja et al., 2017).

9. Autres applications des extraits et huiles essentielles de *Mentha piperita* L.

9.1. Maîtrise des infections des fruits et dérivés

Le traitement post-récolte des fruits par les extraits et/ou huiles de *Mentha piperita* L., associé au chitosane s'est révélé capable d'inhiber significativement l'infection par *Aspergillus niger*, *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea* et *Rhizopus stolonifer* (Guerra et al., 2015), responsables respectivement de la moisissure noire, de la moisissure bleue, de la moisissure grise et de la pourriture molle sur les tomates (Romanazzi et Feliziani, 2014), ainsi que le développement mycélien de diverses espèces de *Colletotrichum* (*C. fructicola*, *C. asianum*, *C. dianesei*, *C. karstii* et *C. tropicale*) reconnues comme étant potentiellement responsables de l'anthracnose de la mangue (De Oliveira et al., 2017). La capacité des extraits et des huiles essentielles de *Mentha piperita* à inhiber les champignons responsables de la contamination des fruits a été également démontré avec succès par (Riahi et al., 2013).

Par ailleurs, l'usage de l'huile essentielle de menthe poivrée à une concentration 2.5 µl/ml comme agent antifongique dans une purée de mangue placée à une température de 25°C pendant 15 jours a montré une forte activité antifongique contre la croissance d'*Aspergillus parasiticus*, *Aspergillus versicolor* et *Mucor* spp. offrant au produit une qualité nutritionnelle élevée (Adjou et al., 2017).

De plus, une réduction du nombre d'*Echirichia coli*, de *Listeria monocytogenes* et de *Salmonella enterica* a été constatée après l'application pendant une heure de l'huile essentielles de *Mentha piperita* L., à différentes concentrations dans les jus d'ananas, de goyave et de noix de cajou (De Sousa Guedes et al., 2016). Ces mêmes auteurs ont fait aussi état d'une efficacité remarquable de l'utilisation de l'huile de cette plante pour conserver les jus de pomme et d'orange.

Une étude plus récente menée par da Cruz Almeida et al. (2019) a mis en évidence l'intérêt de l'utilisation de l'huile essentielle de menthe poivrée comme agent naturel pour prolonger la durée de conservation des jus de mangue, de goyave, d'ananas et de noix de cajou en démontrant ses aptitudes antimicrobiennes intéressantes à inhiber le développement de certaines levures responsables de l'altération des produits dont notamment *Pichia anomala*, *Candida albicans*, *Saccharomyces cerevisiae* et *Candida tropicalis*.

9.2. Conservation des viandes

Dans l'industrie de la viande, *Mentha piperita* s'est avérée très efficace pour préserver la qualité des produits. En effet, l'huile essentielle de cette plante incorporée dans le bœuf haché stocké à 9°C a considérablement réduit la croissance bactérienne de la flore bactérienne totale, atténué l'oxydation des lipides et a même amélioré remarquablement l'odeur de la viande fraîche, même à des températures d'entreposage relativement plus élevées (Djenane et al., 2012).

Par ailleurs, le pouvoir bio-préservateur de l'huile de *Mentha piperita* L. appliquée seule ou en combinaison avec la semi-bactériocine BacTN635 sur du bœuf haché entreposé à 4°C pour une

durée de 21 jours a été mis en évidence par **Smaoui et al. (2016)** qui ont démontré que cette combinaison réduisait notablement la peroxydation lipidique tout en atténuant le phénomène d'accumulation de méthémoglobine et permettant une meilleure préservation des attributs sensoriels par rapport à la viande non traitée, notamment en ce qui concerne la couleur, l'odeur et l'apparence.

Conclusion bibliographique

Conclusion bibliographique

Le yaourt, en tant que produit laitier fermenté, se distingue par ses nombreux effets bénéfiques sur la santé humaine. Ces bienfaits résultent principalement de sa composition biochimique riche, incluant les vitamines, les acides gras essentiels et les peptides bioactifs. Par ailleurs, il est connu aussi pour ses propriétés probiotiques très bénéfiques pour la santé garanties par la présence des deux souches spécifiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, dont la concentration minimale requise dans le produit fini destiné au consommateur doit être de 10^7 germes vivants par gramme.

Cependant, malgré ses atouts, le yaourt présente une carence notable en constituants bioactifs tels que les composés phénoliques, connus pour leurs effets favorables sur la santé, notamment leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et anticancéreuses. Ces composés sont principalement présents dans les végétaux, notamment les plantes médicinales aromatiques.

Dans ce sens, le yaourt constitue une matrice idéale pour l'incorporation d'extraits bioactifs issus de plantes médicinales, telles que la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.). Cette plante, réputée pour sa richesse en flavonoïdes (lutéoline, hespéridine, naringénine, rutine, etc.) et en acides phénoliques (acide rosmarinique, acide caféique, acide chlorogénique, entre autres), offre de nombreux bienfaits pour la santé. Elle protège les cellules grâce à ses antioxydants, réduit les inflammations, combat les microbes comme les bactéries et les virus, améliore la digestion en soulageant les ballonnements, apaise les douleurs comme les maux de tête, protège le cerveau en stimulant la mémoire, et peut contribuer à prévenir le cancer. Ces propriétés thérapeutiques exceptionnelles font de la menthe poivrée un ingrédient idéal pour enrichir le yaourt, permettant ainsi de créer un produit à la fois savoureux et bénéfique pour la santé.

L'intégration de ces composés phénoliques dans le yaourt peut permettre ainsi de combiner les bienfaits intrinsèques de ce dernier – notamment ses propriétés probiotiques et ses apports nutritionnels – aux vertus thérapeutiques d'extrait de *Mentha piperita* L. Une telle association ouvre la voie à la conception d'un nouveau produit alicament, répondant aux attentes croissantes des consommateurs pour des aliments fonctionnels à la fois bénéfiques pour la santé et conformes aux tendances actuelles axées sur la prévention et l'amélioration du bien-être.

Partie 2

Méthodologie expérimentale

1. Objectifs

Les extraits phénoliques de *Mentha piperita* L. ont déjà fait l'objet de plusieurs études portant sur leur efficacité sur diverses espèces bactériennes pathogènes et/ou susceptibles d'altérer les aliments. Cependant, très peu d'informations ont été fournies quant à l'effet de ces extraits sur le développement des bactéries lactiques spécifiques aux yaourts et, à notre connaissance, aucune étude portant sur une éventuelle influence de ces extraits sur le profil lipidique des yaourts n'a été réalisée à ce jour.

La présente étude contribue à une meilleure compréhension des effets des extraits phénoliques de *Mentha piperita* L. sur les propriétés fonctionnelles du yaourt en termes d'activité antioxydante, de contenu en acides gras essentiels au cours du stockage au froid positif ainsi que la viabilité des bactéries probiotiques spécifiques au yaourt et la préservation des qualités physicochimiques et organoleptiques du produit au cours des deux périodes de fermentation et de post-acidification.

L'utilisation d'extraits bioactifs de *Mentha piperita* L. comme adjuvants dans le yaourt soulève plusieurs hypothèses de recherche dont:

- Les extraits de menthe poivrée agiraient-ils sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt? Dans l'affirmative, comment cette inhibition se manifesterait-elle (effet bactéricide ou bactériostatique) et à quelle concentration de l'extrait ?
- Les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques du yaourt seraient-elles influencées par l'ajout de ces extraits, et si tel est le cas, cela serait-il plutôt en faveur ou en défaveur de la qualité générale du yaourt ?
- La supplémentation du yaourt avec un extrait phénolique de menthe poivrée aurait-il pour effet d'améliorer, de limiter ou de ne pas avoir d'effet sur les propriétés antioxydantes du yaourt ?
- Quel pourrait être l'impact de cette supplémentation en extrait de menthe poivrée sur le profil lipidique du yaourt ?

A cet effet, la présente étude a été entreprise pour évaluer la composition en composés phénoliques, la capacité antioxydantes, ainsi que l'effet sur le développement des bactéries spécifiques au yaourt d'extraits phénoliques de *Mentha piperita* L. récoltée à Ouargla, au sud est de l'Algérie, en vue de développer un nouveau produit laitier fermenté (type yaourt étuvé) alicament par l'incorporation des dits extraits et de contrôler la stabilité de sa qualité, son potentiel antioxydant ainsi que la variation de sa composition en acides gras pendant 21 jours de stockage au froid positif à 6°C.

La réalisation de ce travail de recherche a suivi les étapes suivantes :

- 1- Extraction des composés phénoliques de *Mentha piperita* L. récoltée à Ouargla par usage de trois solvants à polarité croissante dont : Éthanol aqueux, Méthanol aqueux et Eau.
- 2- Caractérisation phytochimique des principaux composés phytochimiques bioactifs des trois extraits obtenus et dosage des principaux groupes de composés phénoliques présents.

- 3- Caractérisation par LC-MS/MS du profil en composés phénoliques des extraits de *Mentha piperita* L.
- 4- Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de menthe poivrée.
- 5- Détermination de l'influence antibactérienne des extraits phénoliques de menthe poivrée sur le développement des deux bactéries starters du yaourt (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) en vue d'une optimisation de leurs utilisations dans la formulation d'un yaourt étuvé.
- 6- Intégration d'extraits de menthe poivrée dans la formulation d'un lait fermenté de type yaourt étuvé et observation de la stabilité de ses propriétés physico-chimiques, microbiologiques et organoleptiques pendant 4 heures de fermentation et 21 jours de post-acidification.
- 7- Suivi de l'évolution de l'activité antioxydante (par des tests de piégeage des radicaux DPPH, ABTS et TBARS) des yaourts supplémentés ou non d'extraits de menthe poivrée au cours de la période de stockage à 6°C.
- 8- Evaluation par analyse GC-FID de la composition en acides gras de la fraction lipidique des yaourts expérimentaux sans et additionnés d'extrait de menthe poivrée au cours de la période de stockage.

2. Intérêts de l'étude

Le yaourt constitue un apport considérable en macro et micronutriments essentiels à l'alimentation humaine. Il est aussi une source importante de peptides bioactifs générés lors du processus de fermentation par les deux espèces bactériennes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

Cependant, il reste carencé en termes d'antioxydants. Il est donc, comme tous les produits laitiers, vulnérable à l'oxydation de la fraction lipidique, ce qui se traduit généralement par des odeurs ainsi que des saveurs déplaisantes et une détérioration rapide de ces propriétés nutritionnelles limitant sa durée de conservation (**Ferreira & Santos, 2023**). Cela fait de l'enrichissement de ce produit par des ingrédients naturels, tels que les extraits phénoliques de plantes, un choix judicieux permettant d'une part de compenser le déficit de ce type de lait fermenté en composés antioxydants à effets bénéfiques pour la santé humaine et de satisfaire en d'autre part les exigences des industriels en préservant davantage la stabilité de la qualité du produit au cours de son stockage au froid.

Compte tenu de sa teneur élevée en composés phénoliques capables de promouvoir la santé du consommateur, l'utilisation d'extraits de *Mentha piperita* L., comme additifs naturels en remplacement aux antioxydants synthétiques dans le procédé de fabrication des yaourts peut constituer une approche novatrice dans l'industrie laitière pouvant contribuer au lancement de nouveaux produits alimentaires à la fois sûrs et fonctionnels.

3. Matériel

3.1. Matière végétale

La plante *Mentha piperita* L. objet de l'étude, a été cultivée à titre d'essai expérimental sous palmeraies dans la région de Hassi Ben Abdallah, sise dans la Daïra de Sidi Khouiled, située à 26 km du chef-lieu de la wilaya de Ouargla, au sud-est d'Algérie, avec une altitude de 156m, une latitude de 32°52' Nord et une longitude de 5°24' Est.

La plante récoltée au début du mois d'octobre de l'année 2018 a été tout d'abord identifiée avant son utilisation expérimentale par des spécialistes dans le domaine des sciences botaniques relevant du département d'agronomie, université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie.

3.2. Souches bactériennes

Les deux souches de référence de bactéries lactiques spécifiques du yaourt dont *Streptococcus thermophilus* (ATCC 19258) et *Lactobacillus delbrueckii* sub sp *bulgaricus* (ATCC 11842), ayant servi à la fabrication des laits fermentés expérimentaux ont été fournies à titre de don par la société SACCO, Italie.

3.3. Milieux de culture et produits chimiques

Les milieux de culture M17, MRS et Mueller-Hinton (MH) utilisés dans cette étude expérimentale ont été fournis par le laboratoire Conda (Madrid, Espagne), tandis que tous les autres produits chimiques ont été achetés de chez Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

4. Méthodes

4.1. Extraction des composés phénoliques

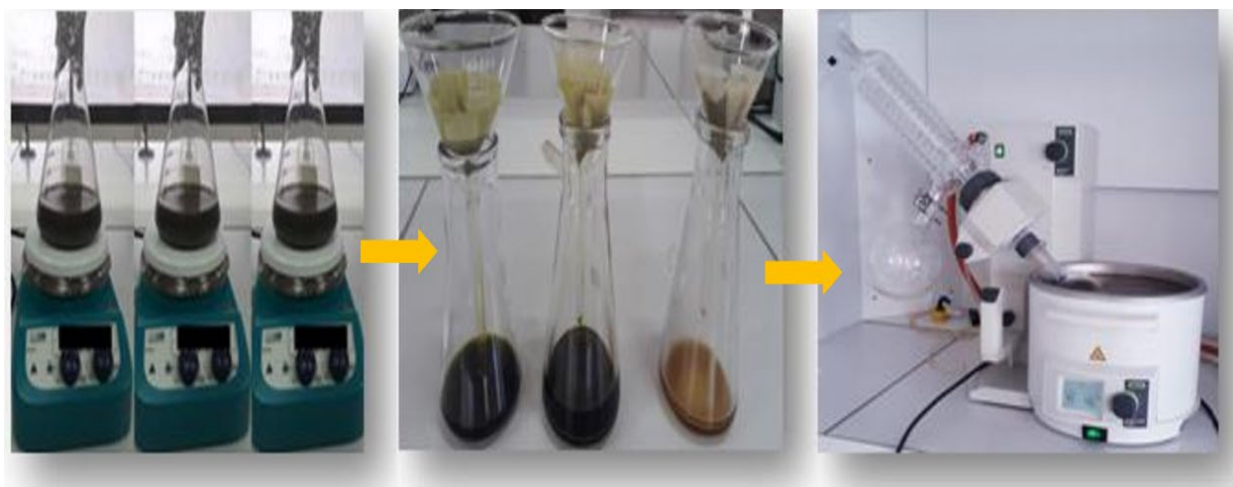
4.1.1. Préparation des échantillons

Un prélèvement d'1.5 kg d'échantillons de la partie aérienne de *Mentha pipéríta* L. effectué dans la zone de collecte à Ouargla a été étalé sur papier journal et laissé sécher à l'air ambiant, à l'abri de la lumière et d'humidité, à température ambiante (**Roux & Catier, 2007**) pendant 15 jours. La plante une fois séchée a été ensuite broyée à l'aide d'un broyeur électrique à lame. La poudre de *Mentha piperita* L. ainsi obtenue a été stockée dans des bocaux stériles, soigneusement fermés et placés dans un endroit obscur et à sec jusqu'à utilisations ultérieures.

4.1.2. Extraction

L'extraction des composés bioactifs contenus dans la plante *Mentha pipéríta*.L a été réalisée par macération à température ambiante, selon la méthode décrite par **Sultana et al. (2009)**. Trois solvants à polarité croissante à savoir l'éthanol aqueux (80/20, éthanol/eau, v/v), le méthanol aqueux (80/20, méthanol/eau, v/v) et l'eau, ont été utilisés séparément à raison de 100 ml de solvant pour 10 g de poudre de *Mentha piperita* L. de telle sorte à avoir une proportion solide/solvant de 1:10. L'extraction a été laissée se poursuivre pendant 6 heures sous agitation magnétique (agitateur VLP scientifica, Italy), à température ambiante et à l'obscurité afin d'éviter tout phénomène d'oxydation. Les macérâts ainsi obtenus ont été d'abord filtré sur un papier filtre Wattman N°1 ayant une porosité de 11 µm, puis soumis à une évaporation à 45°C sous pression

réduite dans un évaporateur rotatif (Buchi R-210 Rotavapor System). Le but de cette dernière étape était d'éliminer les solvants utilisés pour l'extraction (**Figure 9**). Il est à noter que tout au long du processus d'extraction, l'exposition à la lumière a été évitée. Enfin, les trois extraits ont été conservés au froid et à l'obscurité.



(a) : Extraction solide-liquide

(b) : Filtration sous vide

(c) : Évaporation sous vide

Figure 9. Procédé d'extraction des composés phénoliques de *Mentha piperita* L. par usage de 3 solvants (Sultana et al., 2009).

4.1.3. Calcul du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction en composés phénoliques de *Mentha piperita*.L correspond au rapport entre la masse du résidu obtenu après l'évaporation totale au rotavapeur de l'extrait et celle de la poudre végétale initialement manipulée selon l'équation suivante :

$$\text{Rendement \%} = \frac{m_0}{m_1} \times 100$$

m_1 : Masse du résidu obtenu après évaporation ;

m_0 : Masse initiale de la poudre végétale.

4.2. Screening phytochimique des extraits de *Mentha piperita* L.

Le Screening phytochimique a pour objectif de mettre en évidence des groupes de familles chimiques présents dans une plante donnée. Il s'agit de l'analyse qualitative qui permet la caractérisation des principaux groupes chimiques et dont le principe consiste à la formation soit de complexes insolubles résultant de réactions de précipitation, soit de complexes colorés, issus de réactions de coloration (Badiaga, 2011). Dans la présente étude, afin de déterminer la présence de certains métabolites secondaires à intérêts biologiques dans les parties aériennes de *Mentha piperita*.L, les extraits hydro-méthanoliques, hydro-éthanoliques et aqueux ont été soumis à des tests de révélation réalisés selon des méthodes standards et qui ont concerné : les polyphénols totaux, les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tannins, les anthocyanes, les leuco anthocyanes, les coumarines, les stéroïdes, les triterpènes, les quinones, les saponosides et les sucres réducteurs. Les résultats qualitatifs obtenus sont classés en :

- Réaction franchement positive (+++) : Présence confirmée ;
- Réaction positive (++) : présence modérée ;
- Réaction moyennement (+) : présence en tant que trace ;
- Réaction négative(-) : absence.

4.2.1. Polyphénols

La présence de substances phénoliques a été déterminée par le test du chlorure ferrique. Une prise de 50 mg d'extrait lyophilisé a été dissoute dans 5 ml d'eau distillée. Le virage à la couleur noire bleutée après l'ajout de quelques gouttes de chlorure ferrique à 5% indique la présence de polyphénols (**Khursheed & Jain, 2021**).

4.2.2. Alcaloïdes

La détermination des alcaloïdes dans le matériel végétal nécessite la réalisation de trois tests au minimum afin d'éviter des réactions faussement positives. En effet, la caractérisation des alcaloïdes totaux présents dans la partie aérienne de la *Mentha piperita.L* a été effectuée par la réalisation des tests de: Dragendorff, Bouchardat, et de Mayer & Wanger; donnant respectivement en présence d'alcaloïdes des précipités rouge orangé, brun rougeâtre et blanc crème. La composition de ces réactifs est décrite en (**Annexes 1**).

Le principe de ces trois tests repose sur la capacité des alcaloïdes à se combiner avec les métaux lourds ou avec l'iode. En pratique, des prises de 3ml d'extrait ont été introduites séparément dans quatre tubes à essai et additionnés de 1 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄ concentré). 2 gouttes de réactif de Dragendorff sont ensuite ajoutées dans le premier tube, 2 gouttes de réactif de Bouchardat dans le deuxième, et 2 gouttes de réactif de Mayer & Wanger dans le troisième tube. Le quatrième tube auquel aucun réactif n'a été introduit a été servi comme témoin. La présence des alcaloïdes a été mise en évidence par l'apparition de précipité rouge orangé avec le réactif de Dragendorff et brun rougeâtre avec le test de Bouchardat et blanc crème avec le réactif de Mayer & Wanger (**Saidi ; 2019**).

4.2.3. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés phénoliques ou aromatiques responsables de la pigmentation jaune et orange des fleurs, fruits et parfois des feuilles sénescents (**Kallo et al., 2018**). Pour leur mise en évidence, une prise de 2 ml d'extrait a été additionnée de 0.5 ml d'acide chlorhydrique concentré et de 2 à 3 copeaux de magnésium. Le développement d'une coloration rose/rouge après 3 minutes indique la présence de flavonoïdes (**Benouhene et al.,2021**).

4.2.4. Tanins

Les tanins sont déterminés par le test au chlorure ferrique. Un volume d'1 ml d'extrait a été introduit dans un tube à essai, puis additionné de quelques gouttes d'une solution méthanolique de FeCl₃ dilué à 1%. L'apparition d'une coloration bleue-verte indique la présence des tanins catéchiques (tanins condensés); alors qu'une coloration bleue foncée révèle la présence des tanins galliques (tanins hydrolysables) (**Cavé, 1993 ; Benouhene et al., 2021**).

4.2.5. Anthocyanes et leucoanthocyanes

Les anthocyanes constituent une classe de flavonoïdes. Ce sont des composés pour lesquels un large répertoire de couleurs dans la gamme rouge bleu est disponible résultant de leur complexation avec d'autres polyphénols et ions métalliques. Ils confèrent à de nombreuses fleurs, fruits et certaines feuilles des colorations rouge et violette

- **Anthocyanes** : pour leur détection au sein des extraits de *Mentha piperita* L.; 2 ml d'extrait ont été additionnés de 5 ml d'acide sulfurique concentré et 5 ml d'hydroxyde d'ammonium. Une coloration rose/rouge ou bleue indique la présence d'anthocyanes (Cavé, 1993 ; Benouchene et al., 2021).
- **Leucoanthocyanes**: à 5 ml d'extrait, 5 ml d'alcool isoamylique ont été ajoutés. L'apparition d'une couche supérieure rouge indique la présence de leucoanthocyanes (Godghate et al., 2012).

4.2.6. Coumarines

1ml d'extrait ont été prélevé dans un tube à essai et additionné de quelques gouttes d'eau distillée. Ensuite, le tube a été recouvert de papier imbibé d'hydroxyde de sodium (10%) puis chauffé jusqu'à ébullition. Une fluorescence jaunâtre observée sous lampe UV révèle la présence de coumarines (Cavé, 1993 ; Benouchene et al., 2021).

4.2.7. Stérols et triterpènes

La mise en évidence des stérols et terpènes a été effectuée par le test de Liebermann-Burchard. 5 ml d'anhydride acétique ont été soigneusement mélangés avec 5 ml d'extrait, puis 1 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentrée ont été ajoutés sur le côté du tube. La présence de stérols a été déterminée par l'apparition à la zone de contact des deux liquides d'un anneau rouge. Tandis qu'une coloration verdâtre dans la couche de séparation, indique la présence des triterpènes (Saidi, 2019).

4.2.8. Quinones

Les quinones sont des composés organiques dont certains sont des pigments rouge, jaune, orange, et violet rencontrés chez les végétaux. Pour leur mise en évidence, une prise de 200 mg d'extrait de *Mentha piperita* L. a été dissoute dans de l'eau distillée (10 ml). La solution a été ensuite filtrée, puis le filtrat a été soumis à une double extraction au benzène (2×5ml). Un volume de 10 ml d'extrait benzénique est enfin additionné de 5 ml de solution aqueuse d'ammoniacale (NH₄OH) diluée à 20 %. Après agitation, le mélange est laissé décanter. L'apparition d'une coloration rouge violacée ou rouge orangé de la phase ammoniacale indique la présence des quinones (Bruneton, 1999 ; Dohou et al., 2003 ; Alilou et al., 2014).

4.2.9. Saponines (Test de mousse) :

Une prise de 2 ml d'extrait a été introduite dans un tube à essai puis additionnée de 3 ml d'eau distillée. Ensuite, le tube a été agité vigoureusement pendant 5 minutes puis laissé au repos pendant 10 minutes. La formation d'une mousse stable à une hauteur de 1 à 2 cm indique la présence de saponines (Saidi, 2019). L'évaluation de la présence de saponines est effectuée en fonction de la hauteur de la mousse formée de la façon suivante :

- Absence de mousse = test négatif.
- Hauteur de mousse moins de 1 cm = test faiblement positif.
- Hauteur de mousse 1-2 cm = test positif.
- Hauteur de mousse plus de 2 cm = test très positif.

4.2.10. Sucres réducteurs

1ml d'eau distillée a été additionné de 1ml d'extrait dans un tube à essai contenant 20 gouttes de solution de Fehling et chauffer le mélange jusqu'à ébullition. La formation d'un précipité rouge brique indique la présence de sucres réducteurs (Cavé, 1993 ; Benouchene et al., 2021)

4.3. Dosage de certains composés bioactifs

4.3.1. Composés phénolique totaux

20 µl d'extrait hydro-éthanolique de *Mentha piperita*.L a été mélangée avec 100 µl du réactif du Folin-Ciocalteu 10 fois dilué et 80 µl d'une solution de carbonate de sodium (7.5%, P/v). Le mélange a été incubé à l'obscurité et à température ambiante pendant 90 min. L'absorbance a été mesurée à une longueur d'onde de 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre Janway 7205 (Saffidine et al., 2015). La teneur en composés phénoliques totaux exprimée en mg équivalent d'acide gallique par ml d'extrait (mg EAG/ml) , en mg équivalent d'acide gallique par g d'extrait lyophilisé (mg EAG/g EL) et en mg équivalent d'acide gallique par 100 mg de poudre de menthe poivrée (mg EAG/100g PMP) a été déduite par l'équation linéaire ($y = 0.008x + 0.011$; $R^2 = 0.998$) d'une courbe standard réalisée avec de l'acide gallique comme étalon et dans les mêmes conditions de dosage que l'échantillon expérimental analysé.

4.3.2. Flavonoïdes totaux

A 500 µl d'extrait à analyser, 500 µl de chlorure d'aluminium préparé à 2% dans du méthanol a été additionnée. Après 10 min d'incubation à l'obscurité et à température ambiante la lecture de l'absorbance a été réalisée au spectrophotomètre (Janway 7205) réglé à une longueur d'onde de 430 nm (Djenidi et al., 2020). Une courbe standard a été réalisée dans les mêmes conditions avec de la quercétine et son équation linéaire ($y = 0.041x + 0.007$; $R^2 = 0.999$) a été utilisée pour déterminer la teneur en Flavonoïdes totaux. Les résultats ont été exprimés en mg équivalents quercétine par ml d'extrait (mg EQ/ml), en mg équivalents quercétine par g d'extrait lyophilisé (mg EQ/g EL) et/ou par mg équivalents quercétine par 100g de poudre de menthe poivrée (mg EQ/100g PMP),.

4.3.3. Tanins condensés

Pour réaliser le dosage des tanins, un volume 100 µl de réactif de vanilline préparé par des volumes égaux d' HCl (8%), de méthanol (37%) et de vanilline à 4% de méthanol (m/v) a été ajouté à 20 µl d'extrait à analyser, puis agité et incubé à 30 °C pendant 20 min à l'obscurité. L'absorbance a été ensuite mesuré à 500 nm au spectrophotomètre UV (Janway 7205) contre un blanc composé d'1ml de méthanol (37%) et 1ml d'HCl (8%) (Mahmoudi et al., 2013). L'équation linéaire ($y = 0.001x + 0.013$; $R^2 = 0.994$) d'une courbe standard établie à la catéchine a été employée pour déduire le contenu de l'extrait de *Mentha piperita* L. en tanins condensés, exprimé en mg équivalents catéchine par ml d'extrait (mg EC/ml), en mg équivalents catéchine

par g d'extrait lyophilisé (mg EC/g *EL*) et/ou par mg équivalents catéchine par 100g de poudre de Menthe poivrée (mg EC/100g *PMP*).

4.4. Détermination du profil en composés phénoliques par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS)

Le profil chimique des composés phénoliques contenus dans les extraits de *Mentha piperita* L. a été criblé par la LC-MS/MS selon la méthode de **Yilmaz (2020)**. L'analyse quantitative et qualitative de 56 substances phytochimiques d'empreinte a été effectuée par usage d'un système LC-MS/MS composé d'un chromatographe liquide à ultra-haute performance (UHPLC) de modèle Shimadzu-Nexera couplé à un spectromètre de masse en tandem. L'UHPLC en phase inverse était doté d'un échantillonneur automatique modèle SIL-30AC, d'un four à colonne modèle CTO-10ASvp, de pompes binaires modèle LC-30AD et d'un dégazeur modèle DGU-20A3R. L'analyse chromatographique a été réalisée dans des conditions optimisées. A cet effet, différentes colonnes; modèle RP-C18 Inertsil ODS-4 (100mm×2, 1mm, 2µm) et model Agilent Poroshell 120 EC-C18 (150mm×2.1mm, 2, 7µm), différentes phases mobiles (B) telle que l'acétonitrile et le méthanol, différents additifs de phase mobile telles que l'acide acétique, l'acide formique, le formiate d'ammonium, l'acétate d'ammonium, ainsi que différentes températures de colonne (25 °C, 30 °C, 35 °C et 40 °C) ont été essayées jusqu'à ce que les conditions optimales soient atteintes. Par conséquent, la séparation chromatographique a été réalisée sur une colonne analytique en phase inverse Agilent Poroshell 120 EC-C18 modèle (150mm×2,1 mm, 2,7 µm) à une température réglée à 40 °C. Le gradient d'élution était composé de l'éluant A (eau+0,1 % d'acide formique + 5mM formate d'ammonium) et de l'éluant B (méthanol + 0,1 % d'acide formique + 5mM formate d'ammonium). Le gradient d'élution suivant a été utilisé : 20-100 % B (0-25 min), 100 % B (25-35 min), 20 % B (35-45 min). Le solvant (5 µL) a été injecté avec un débit de 0.5 ml/min.

Un spectromètre de masse en tandem modèle Shimadzu LCMS-8040 équipé d'une source d'ionisation électro-spray (ESI) fonctionnant en mode d'ionisation négative et positive a été ensuite utilisé pour la détection des principaux composés bioactifs séparés. L'acquisition et le traitement des données LC-ESI-MS/MS ont été effectués par le logiciel Lab Solutions (Shimadzu). Les substances phytochimiques ont été quantifiées par usage d'un système MRM (multiple réaction monitoring) optimisé pour la détection sélective et la quantification des composés phytochimiques basée sur le criblage des précurseurs phytochimiques spécifiques aux transitions des fragments ioniques. En vue d'obtenir une meilleure fragmentation phytochimique et une transmission maximale des ions produits, une optimisation des énergies de collision (CE) a été adoptées.

Les conditions de spectrométrie de masse appliquées ont été les suivantes: flux de gaz de séchage (N₂) de 15 l/min; flux de gaz de nébulisation (N₂) de 3 l/min; température DL de 250°C; température du bloc thermique de 400°C et température d'interface de 350°C. L'analyse par LC-Ms/Ms a été réalisée par usage de 56 étalons authentiques dont 53 sont des composés phénoliques naturels (20 acides-phénols, 14 aglycones flavonoïdes, 1 b-flavonoïde, 13 glycosides flavonoïdes, 3 aldéhydes phénoliques, 1 glucoside stilbénoloïde et 1 benzopyrone) et les 3 composés phénoliques restants (la quercétine D3, la rutine D3 et l'acide férulique D3) marqués

aux isotopes ont été utilisés comme des standards internes (IS) pour la quantification des aglycones flavonoïdes, des glycosides flavonoïdes et des composés non flavonoïdes, respectivement.

4.5. Activité antioxydante des extraits de *Mentha piperita* L.

Pour mesurer l'activité antioxydante, des gammes de concentrations (300- 250-200-150-100-50 µg/ml) de chaque extrait lyophilisé de menthe poivrée ainsi que de quercétine et d'acide ascorbique; utilisés comme références ont été d'abord réalisées.

4.5.1. Piégeage des radicaux DPPH

L'activité de piégeage du radical DPPH des extraits de *Mentha piperita* L. et des références (quercétine et acide ascorbique) a été mesurée selon la méthode de **Brand-Williams et al. (1995)**; citée et modifiée par **Djenidi et al. (2020)**. A 100µl de chaque concentration (d'extrait ou de standard) 2.5ml de solution méthanolique de DPPH (0.04%) fraîchement préparé a été rajoutée. Après agitation, le mélange a été laissé réagir pendant 30 min à l'obscurité et à température ambiante. La lecture de l'absorbance a été ensuite effectuée à une longueur d'onde de 517nm au spectrophotomètre (Janway 7205). Un témoin négatif (contrôle) réalisé par la substitution de l'échantillon par du méthanol a été également testé dans les mêmes conditions. L'activité antioxydante a été estimée en pourcentage de piégeage du radical DPPH'; par l'équation suivante :

$$\text{Activité de piégeage de DPPH(\%)} = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{échantillon}}}{\text{Abs}_{\text{témoin}}}\right) \times 100$$

- **Abs_{échantillon}**: absorbance de l'échantillon d'extrait ou du standard.

-**Abs_{témoin}**: absorbance du témoin négatif.

Les IC50 de l'extrait et des standards exprimant la quantité d'extrait ou de standard nécessaire pour inhiber 50% du radical DPPH dans le milieu réactionnel ont été déduites à partir du graphique des pourcentages d'inhibition du radical DPPH en fonction des concentrations des échantillons analysés et exprimées en milligrammes d'extrait ou de standard par ml.

4.5.2. Activité de piégeage des radicaux ABTS⁺

L'activité de piégeage du radical ABTS⁺ des extraits de la plante objet de la présente étude ainsi que celle des références a été effectuée selon la méthode de **Thaipong et al. (2006)**, citée et modifiée par **Almusallam et al. (2021b)**. Des solutions aqueuses d'ABTS (7.4 mM) et de persulfate de potassium (2.6 mM), ont été préparées puis mélangées dans un rapport de 1:1 (v/v) et laissées incuber pendant 16 heures à l'obscurité et à température ambiante afin d'obtenir une solution de radicaux cationiques (Réactif ABTS⁺), à partir de laquelle un volume de 1000µl a été dilué au méthanol jusqu'à l'obtention d'une absorbance de 1.049 ± 0.012 unités à une longueur d'onde de 743nm. Des prises de 1800µl de réactif ABTS⁺ ont été ensuite additionnées à 200µl de chaque concentration d'extrait ou de standards. Les échantillons ont été analysés après 2 h d'incubation à l'obscurité et à température ambiante par mesure de l'absorbance au spectrophotomètre (Janway 7205) réglé à une longueur d'onde de 734 nm. Un contrôle négatif réalisé par la substitution de l'échantillon par du méthanol a été traité et analysé de la même

manière que les autres échantillons. L'activité de piégeage du radical ABTS exprimée en pourcentage d'inhibition a été calculée par l'équation suivante :

$$\text{Activité de piégeage d'ABTS}^+(\%) = \left(1 - \frac{\text{Abs}_{\text{échantillon}}}{\text{Abs}_{\text{témoin}}} \right) \times 100$$

- **Abs_{échantillon}**: absorbance de l'échantillon d'extrait ou du standard.

- **Abs_{témoin}**: absorbance du témoin négatif.

Les IC50 des extraits et des standards ont été déduites à partir du graphique des pourcentages d'inhibition du radical **ABTS**⁺ en fonction des concentrations des échantillons et exprimées en milligrammes d'extrait ou de standard par ml.

4.6. Effets des extraits de *Mentha pipéríta* L. sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt

4.6.1. Préparation des souches :

Afin de tester l'effet des extraits de menthe sur la croissance des *Streptococcus thermophilus* (*St*) et *Lactobacillus bulgaricus* (*Lb*) lyophilisées, les souches concernées ont été d'abord revivifiées par culture d'une prise 0.25g de chaque bactérie dans 10 ml de bouillon nutritif. Après 3 heures d'incubation à 38°C une prise de 0.1 ml de chaque tube a étéensemencée dans le milieu solide spécifique de croissance (M17 pour les *St* et MRS pour les *Lb*) et laissée incuber pendant 24 heures à 38°C. 3 à 4 colonies jeunes de chaque culture ainsi obtenues ont été ensuite prélevées etensemencées à nouveau dans 10 ml de bouillon nutritif puis incubées à 38°C pendant 3 heures pour obtenir pour chaque tube une turbidité d'au moins 0.5 McFarland, correspondante à une absorbance de 0.08 à 0.10 à une longueur d'onde de 625 nm mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre (Janway 7205) (Eucast, 2003). Les précultures de *St* et de *Lb* ainsi obtenues ont été utilisées pour la réalisation des tests antibactériens.

2.6.2. Préparation des solutions d'extraits

Des concentrations à raison de 0, 20, 40, 60, 80 et 100% d'extraits de *Mentha pipéríta*.L préparés à différentes polarités de solvant ont été réalisées à l'eau distillée stérile et orientées pour les tests antimicrobiens aux germes spécifiques du yaourt.

4.6.3. Méthode de contact direct

A partir de chaque préculture, des dilutions décimales isotopiques allant jusqu'à 10⁻⁵ ont été réalisées. Des prises à raison de 1 ml ont été prélevées de chaque dernière dilution (10⁻⁵) ont été introduites chacune dans des tubes contenant 09 ml de l'une des dilutions (0, 20, 40, 60, 80 et 100%) d'extrait de menthe. A partir du mélange de chaque tube, une prise de 0.1 ml a été cultivé séparément sur les milieux gélosés (MRS ou M17) spécifiques aux bactéries étudiées, puis incubées à 42°C pendant 24 heures (Ait Chabane et al., 2021).

4.6.4. Méthode des disques par diffusion sur milieu solide

Plusieurs disques de 6mm de diamètre confectionnés avec du papier Whatman N°3 puis stérilisés à 120°C pendant 4 minutes ont été immergés durant 5 minutes dans des tubes contenant séparément les différentes dilutions d'extraits de menthe poivrée et dans un puissant

antibiotique à savoir la Gentamycine (à 1000000 UI) ayant servi comme contrôle positif. Des prises de 1ml de précultures (de *St* et *Lb* séparément) préparées comme décrit précédemment ont été ensuite étalées en surface de plusieurs boîtes de Petri contenant le milieu MH gélosé. Puis de chaque dilution d'extrait expérimental contenue dans un tube à essai 3 disques Whatman ont été retirés et placés en surface du milieu MH gélosé ensemencé au préalable par l'une des souches étudiées dans une boîte de Petri. Les zones d'inhibition formées au tour des disques de chaque dilution d'extrait ont été mesurées après 24 heures d'incubation à 38°C (Prescott et al., 2018).

4.6.5. Détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI)

La CMI est la concentration la plus faible d'une substance susceptible d'inhiber visiblement la croissance d'un microorganisme (Denis et al., 2011). Pour sa détermination des dilutions (0,20, 40,60, 80 et 100%) réalisées au bouillon MH à partir des trois extraits de menthe poivrée ont été réparties chacun en deux séries de tubes de 2 ml. Chaque dilution d'extrait a reçu ensuite un volume de 0.2 ml de l'une des pré-cultures de bactéries spécifiques du yaourt, puis homogénéisé au vortex et incubé à 38°C pendant 24 heures. La turbidité générée par la croissance des deux bactéries étudiées, a été mesurée au spectrophotomètre réglé à 560 nm.

Les CMI ont été déterminées au spectrophotomètre (Janway 7205) réglé à 560nm en mesurant la turbidité générée par la croissance des deux bactéries étudiées (Moroh et al., 2008). Le taux de croissance (S) a été calculé par l'équation suivante :

$$S = \frac{df-di}{Df-Di} \times 100$$

Ou S est le taux (%) de survie du germe; $df-di$ est la différence entre les densités optiques avant et après incubation mesurées dans les solutions d'extraits phénoliques ensemencées aux germes spécifiques de yaourt; $Df-Di$ est la différence entre les densités optiques avant et après incubation mesurées dans le témoin (0%) à l'eau ensemencées aux germes spécifiques de yaourt. La CMI correspondra donc à la première concentration d'extrait de *Mentha piperita*.L pour laquelle S = 0.

4.6.6. Détermination des concentrations minimales bactéricides (CMB)

La CMB est la concentration d'une substance antimicrobienne qui ne permet la survie que de 0.01% d'individus après 24 heures d'incubation (Moroh et al., 2008). Pour la détermination de la CMB des extraits de *Mentha piperita* L., des dilutions décimales allant jusqu'à 10^{-4} représentant la survie de 0.01% des germes ont été réalisées à partir des inoculas des bactéries lactiques étudiées. Les dilutions obtenues ont fait l'objet d'ensemencement en stries de 5 cm sur un milieu MH gélosé pour obtenir deux boîtes témoin (l'une pour les *St* et l'autre pour les *Lb*). De la même manière, à partir des séries de tubes expérimentaux, utilisés précédemment pour la détermination de la CMI des inoculas de *St* et de *Lb* ont été ensemencés en stries de 5cm à la surface d'un milieu MH solidifié contenu chacune dans une boîte de Petri. Après 24 heures d'incubation à 38°C, la lecture des résultats a été effectuées en comparant les stries des cultures bactériennes obtenus à ceux des boîtes témoins (Okou et al., 2018). Ainsi, la CMB correspondra à la première

concentration d'extraits de menthe ayant donné un nombre de colonies inférieur ou égale à celui obtenu pour la dilution décimale 10^{-4} des solutions bactériennes.

4.7. Elaboration des yaourts aux extraits de *Mentha piperita* L.

Pour la fabrication des yaourts expérimentaux, du lait de vache pasteurisé semi-écrémé à 1.5% de matière grasse fabriqué par le groupe industriel des produits laitiers GIPLAIT relevant de la filiale de Mostaganem a été utilisé. Le lait pasteurisé conservé à 6°C a été tout d'abord ramené à une température de 45°C, puis réparti dans 36 pots pouvant contenir 100 ml chacun. Ensuite, chaque extrait de menthe poivrée élaboré selon le type de polarité du solvant d'extraction utilisé (éthanol, méthanol ou à l'eau) a été ajouté chacun en triplet (dans trois pots contenant 100ml de lait) à raison respectivement de 0, 2, 4 et 6%. Tous les pots de lait renforcé d'extraits de menthe à différentes doses ont été ensuite inoculés à 3% d'un levain préparé avec un rapport des souches de 2 *Streptococcus thermophilus* / 1 *Lactobacillus bulgaricus* (Arioui et al., 2017). En effet, 750 ml de lait ayant servi à la préparation du ferment a été préparé à un taux de 130g/l de poudre de lait « écrémé », puis il a été pasteurisé durant 2 minutes à 100°C et refroidi à 45°C. Ce dernier lait a été par la suiteensemencé avec 0.5 g d'une prise de la souche lactique lyophilisée pure de *Streptococcus thermophilus* et avec 0.25 g de la souche pures de *Lactobacillus bulgaricus*. Après étuvage à 45°C pendant 1 heure du mélange de laitensemencé aux germes spécifiques du yaourt, le levain est prêt à l'emploi avec un rapport de souches de 2 *Streptococcus thermophilus* pour 1 *Lactobacillus bulgaricus* (2 *St* / 1 *Lb*, v/v). Les pots de lait enrichi ou non d'extraits de menthe à différentes doses une foisensemencés à 3% (3ml de levain dans 100 ml de lait expérimental) ont été scellés puis étuvés pendant 4 heures à 45°C. Au terme de la fermentation les yaourts caillés ont été refroidis rapidement à 6°C et entreposés dans un réfrigérateur réglé au froid positif de 6°C pendant une durée de conservation de 21 jours.

4.8. Méthodes d'évaluation de la qualité des yaourts aux extraits de menthe poivrée

4.8.1. Analyses bactériologiques

La méthode donnée par la Fédération Internationale du Lait (IDF, 2003) a été adoptée pour le dénombrement des bactéries lactiques spécifiques du yaourt.

Des dilutions des yaourts expérimentaux allant jusqu'à 10^{-5} ont été d'abord réalisées à l'eau peptonée stérile préparée à 1 g/l. Le dénombrement des germes *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* a été effectué après culture en profondeur et en anaérobiose d'une prise de 1ml de la dernière dilution (10^{-5}) sur milieu sélectif MRS dont le pH a été ajusté à 5.4 par addition d'acide acétique, puis incubé à 37 °C pendant 48 à 72 heures. Quant aux germes *Streptococcus thermophilus*, le dénombrement des colonies a été aussi réalisé en masse après culture de 1ml d'une prise de la dernière dilution (10^{-5}) sur un milieu de culture sélectif M17 incubé à 37°C pendant 48 heures. Le dénombrement des germes est exprimé en UFC/ml (unités formant colonies par millilitre de yaourt).

4.8.2. Critères physicochimiques de base

Les paramètres physicochimiques de base (pH et acidité) des yaourts expérimentaux ont été analysés selon les méthodes AOAC (2005) durant les deux périodes de fermentation et de post-

acidification. L'acidité Dornic exprimée en degrés Dornic ($^{\circ}D$) a été déterminée par titration avec une solution (1/9 N) d'hydroxyde de sodium d'une prise de 10 ml de yaourt additionné de quelques gouttes de phénolphthaléine servant d'indicateur de couleur. L'acidité a été évaluée selon la formule suivante :

$$\text{Acidité (D}^{\circ}\text{)} = V \times 10$$

Un pH-mètre de table (laboratoire Benjamin 140 pH-mètre, Italie) étalonné avec deux solutions acide et basique a été utilisé pour mesurer le pH des yaourts.

La viscosité cinématique (Viscosité d'Ostwald) exprimée en m^2s^{-1} a été mesurée par un dispositif qui permet à faire circuler le fluide (le yaourt) dont on veut mesurer la viscosité à travers un tube capillaire avec une vitesse d'écoulement suffisamment faible pour que la loi de Poiseuille soit applicable.

La loi de Poiseuille :
$$D = \frac{\pi r^4}{8\eta} \times \frac{\Delta p}{L}$$

Avec :

D : Débit volumique.

r : le rayon du tube capillaire.

η : la viscosité dynamique du liquide

Δp : Pression hydrostatique ; c'est la différence de pression entre l'entrée et la sortie du tube, tel que :

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g L$$

$\frac{\Delta p}{L}$: représente la chute de pression par unité de longueur, elle est uniforme tout au long du tube et due à la viscosité.

L : la longueur du tube capillaire.

ρ : la masse volumique du liquide (kg/m^3)

Lorsqu'un liquide est stationnaire, la différence de pression entre l'e haut et le bas de la colonne est pratiquement nulle, étant donné que la pression atmosphérique est pratiquement uniforme autour du dispositif. Par contre, si le fluide s'écoule en régime stationnaire, la perte de charge horizontale serait la suivante :

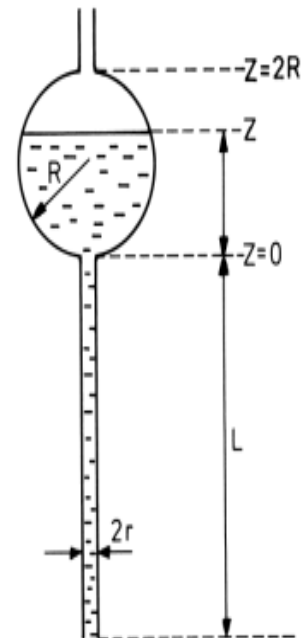
$$\Delta p / L = \rho_{liq} g$$

Avec ρ_{liq} est la masse volumique du liquide, g est le débit volumique, D devient alors :

$D = \pi r^4 / 8\eta \rho_{liq} g$. Si l'on considère que t est le temps nécessaire pour qu'un volume V donné du liquide s'écoule avec un débit D , tel que :

$$D = \frac{V}{t} = \frac{\text{volume du liquide écoulé}}{\text{durée de l'écoulement}}$$

On aura donc la relation qui donnera la viscosité du liquide : $\eta = \frac{\pi r^4}{8V} \times \rho_{liq} g \times t$



Sachant que : $U = \eta / \rho$, la viscosité cinématique peut être déduite :

$$\eta(\text{m}^2\text{s}^{-1}) = \frac{\pi r^4}{8V} \times \rho_{\text{liq}} g \times t$$

4.8.3. Caractéristiques oxydatives des yaourts expérimentaux

4.8.3.1. Activités de piégeage des radicaux DPPH et ABTS

Afin d'évaluer l'activité antioxydante dans les yaourts expérimentaux, une étape de préparation des échantillons (**Figure 10**) a été plus que nécessaire. L'opération consiste à prélever au 1^{er}, 10^{ème} et 20^{ème} jour de stockage à 6°C 1g d'échantillon de chaque pot de yaourt supplémenté ou non d'extrait de menthe. Les prélèvements ont été centrifugés à 9000× g (centrifugeuse SIGMA) à une température de 4°C pendant 10 min et les surnageants ont été récupérés, ensuite et filtrés à travers un filtre seringue (ISOLAB Laborgerate GmbH, Eschau/Germany) à membrane de 0,45 µm (**Lee et al., 2021**). Les filtrats ont été enfin conservés à -20°C jusqu' à leurs usages ultérieurs pour analyses dans un délai maximal ne devront pas dépasser 15 jours. Les tests au DPPH et à l'ABTS des yaourts expérimentaux ont été effectués, respectivement, selon les méthodes décrites comme préalablement (**Djenidi et al., 2020 ; Almusallam et al., 2021b**) .

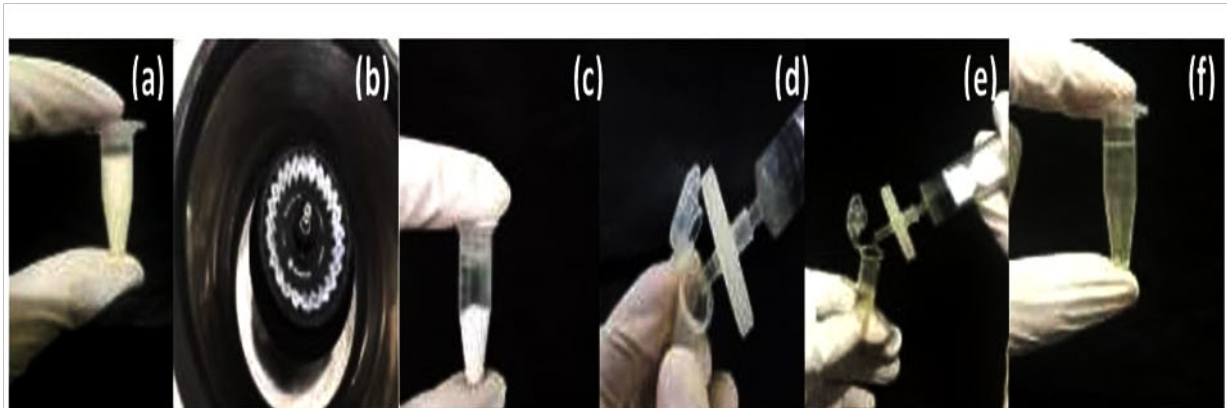


Figure 10. Préparation des échantillons de yaourt : (a) échantillon de yaourt non centrifugé ; (b) centrifugation des échantillons; (c) échantillon de yaourt après centrifugation; (d) et (e) filtration du surnageant du yaourt ; (f) surnageant de yaourt prêt à l'analyse.

4.8.3.2. Dosage des substances réactives à l'acide thiobarbiturique (sr-TBA)

L'évaluation de la peroxydation des lipides dans les yaourts expérimentaux a été réalisée par le dosage du malonaldéhyde (MDA) qui est un produit secondaire résultant de la peroxydation des lipides. Le MDA, aldéhyde particulièrement instable, est très réactif avec l'acide thiobarbiturique (sr-TBA) avec le quel il forme un complexe de couleur rose et /ou jaune présentant une absorbance maximale à une longueur d'onde de 532nm. Ainsi, la peroxydation des lipides a été évaluée par le dosage de MDA ou substance réactives à l'acide thiobarbiturique (sr-TBA) par une mesure spectrophotométrique de l'intensité de la couleur qui résulte de la réaction entre MDA et TBA en présence de TCA (acide trichlorocétiques). En pratique, des aliquotes de 2 g de chaque échantillon de yaourt ont été introduites dans des tubes en verre maintenus sous froids en les plaçant dans de la glace pour limiter le phénomène d'oxydation, puis 100 µl d'acide ascorbique préparé à (%) et 16 ml d'une solution à 5% (p/v) d'acide trichloracétique ont été

rajoutés. Après homogénéisation et centrifugation (centrifugeuse SIGMA) à 8000xg pendant 15 minutes. Un volume de 2ml de surnageant a été prélevée et additionné de 2 ml d'acide thiobarbiturique (20 mmol/l) dans un tube en verres pour être chauffé pendant 15 minutes dans un bain mari réglé à 100°C puis refroidi à l'eau froide jusqu'à atteindre la température ambiante. La détermination de l'intensité de la couleur jaune a été effectuée par une lecture de l'absorbance au moyen d'un spectrophotomètre (Janway 7205) à une longueur d'onde de 532 nm contre un blanc constitué de 2 ml d'acide thiobarbiturique et de 2 ml d'acide trichloracétique (TCA) (Genot., 1996). L'absorbance mesurée a été convertie en mg équivalent malonaldéhyde par kg de yaourt (mgéq MDA/kg de yaourt) en faisant recours au coefficient d'extinction moléculaire du complexe MDA-TBA: $1,56.10^5 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$ selon l'équation suivante :

$$\text{mg MDA/Kg} = \frac{\text{Abs} \times V_{TCA} \times 72 \times \text{M} \cdot 10^5}{1.56 \times m}$$

Avec : **A532** (l'absorbance à 532 nm) ; **V TCA** (volume du solvant d'extraction de 16 ml) ; **m** (masse en g de l'échantillon analysée) ; **M** (masse moléculaire du malonaldéhyde de $72 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) ; **1,56** (coefficient d'extinction moléculaire du complexe TBA-MDA à la valeur de $:1,56.10^5 \text{ M}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$).

4.8.4. Analyse du profil lipidique par chromatographie phase gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID)

Une extraction à froid de la matière grasse des yaourts naturels et additionnés à 4% d'extrait selon le type de solvant d'extraction utilisé (éthanol, méthanol ou à l'eau) a été d'abord réalisée arbitrairement au 1^{er} et 21^{ème} jour d'entreposage des produits expérimentaux à 6°C par un mélange de chloroforme/méthanol à raison de (2:1, v/v) (réactif de Folch). Une prise de 100 g a été prélevée à partir de chaque échantillon de yaourt puis additionnée de 200 ml de réactif de Folch et une pincée de BHT (Hydroxy-Toluène-Butylé). Le mélange a été homogénéisé par agitation magnétique (agitateur VELP Scientifica) pendant 5 minutes avant d'être placé dans un filtre en verre fritté N°1 (porosité de 100 à 160µm). Le filtrat a été additionné d'une solution aqueuse de NaCl (0.73 %, p/v) à raison d'un volume de NaCl pour quatre volumes de filtrat. Le mélange a été laissé se décanter dans une ampoule à décantation. Ensuite, la phase inférieure (chloroforme + lipides) a été récupérée dans un ballon dont le poids a été préalablement défini. La phase supérieure (méthanol + eau + lipides résiduels), restante dans l'ampoule a été rincée par 50ml d'une solution composée de 20% d'une solution aqueuse de NaCl concentrée à 0.58% et 80% de réactif de Folch. Après agitation, suivi d'une décantation la phase inférieure a été soutirée pour être mise dans le ballon contenant la phase inférieure récupérée précédemment puis le tout a été placé dans un rotavapeur (Buchi R-210 Rotavapor System) (Folch et al., 1957, Karacaglar et al., 2019). Le taux de la matière grasse totale (MGT) présente dans 100ml de yaourt a été calculé comme suit :

$$\text{MGT (\%)} = \text{P2} - \text{P1}$$

Où ; **P2**(poids du ballon contenant les lipides) et **P1** (poids du ballon vide).

Pour la préparation des esters méthyliques d'acides gras des prises de 50 mg de chaque échantillon de matière grasse de yaourt ont été prélevées, dissoutes chacune dans 5 ml d'hexane et mélangées vigoureusement avec 5 ml d'une solution d'hydroxyde de potassium (KOH)2N préparée dans du méthanol. Après observation d'une séparation claire des phases, la phase supérieure de chaque échantillon a été récupérée et orientée pour analyse par CPG (Chromatographie Phase Gaz) (Günes et al.,2017).

La séparation des ester méthyliques d'acides gras a été réalisée ainsi par chromatographie en phase gazeuse au moyen d'un chromatographe Perkin Elmer Clarus 500, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (GC-FID) et une colonne capillaire apolaire (RTX-2330)(USA) (30 m×0,25 mm et 0,25 µm ID). L'hélium a été utilisé comme gaz porteur à un débit de 1 ml/min. La température du détecteur était de 260°C et celle de l'orifice d'injection était de 250°C. La température du four a été programmée comme suit: température initiale 70°C, maintenue pendant 2 min; chauffage à 4°C/min jusqu'à 120°C, maintenue 0 min; chauffage à 2°C/min jusqu'à 180°C, maintenue 3 minutes; chauffage 4°C/min jusqu'à 200°C, maintenue 3 minutes et enfin chauffage à 7°C/min jusqu'à 230°C, maintenue 5,21 minutes. L'élution a duré un temps total de 65 minutes sur un volume d'injection de 1 µl de l'échantillon. Un mélange standard d'acides gras (Supelco 37 Component FAME Mix, 47885-U) a été utilisé pour la détermination quantitative et qualitative du profil en acides gras contenus dans les échantillons de yaourt. Les composants d'acides gras ont été identifiés par comparaison de leurs temps de rétention aux normes des standards authentiques (Supelco Company, Fatty acid Mix, Bellefonte, PA, USA). Le calcul des pourcentages de surface des pics des composés a été effectué sur la base des données FID par un logiciel approprié (Demirtas et al., 2011).

4.8.5. Critères organoleptiques

Les critères organoleptique (goût acide, fraîcheur, arrière-goût, cohésion, adhésivité, odeur et couleur) (Annexe 6) des yaourts élaborés ont été évalués périodiquement, sur une échelle de 10 points, par un jury de dégustation constitué de 10 panelistes âgés de 22 à 54 ans exerçant au département des sciences agronomiques affilié à l'université de Mostaganem (Algérie).Les échantillons de yaourt préparés à 0, 2, 4 et 6% d'extraits (éthanolique, méthanolique ou à l'eau) ont été appréciés sensoriellement par les dégustateurs au cours de la période de post acidification : au 1^{er} ; 7^{ème} ,14^{ème} et 21^{ème} jour de stockage à 6°C.

4.9. Traitement statistique des données

Dans la présente étude, le logiciel utilisé pour le traitement statistique des données expérimentales exprimées en moyennes plus ou moins écart type standard et en somme des rangs est le STAT BOX 6.4.Les résultats de type paramétrique réalisés en triplets ont été traités statistiquement par une analyse de variance bi-factorielle en randomisation totale (ANOVA) complétée par un test de comparaison des moyens deux à deux selon le test de Newman-Keuls. Tandis que, les réponses de l'évaluation de la qualité sensorielle des yaourts conservés à 6°C effectuée périodiquement par un jury composé de 10 panelistes ont été traitées par le test non paramétrique de Friedman. Les effets des facteurs étudiés ont été démontrés aux deux seuils de probabilités : à $p < 0.05$ et à $p < 0.01$.

Partie 3

Résultats et discussion

Chapitre I

*Effets d'ajout d'extrait
hydroéthanolique de Mentha piperita L.
sur la qualité d'un yaourt étuvé*

Chapitre I : Effets d'ajout d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sur la qualité d'un yaourt étuvé.

1. Résultats

1.1. Screening phytochimique de l'extrait hydroéthanolique

Les résultats des principales analyses phytochimiques préliminaires de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. (EHEMP) ainsi que le rendement d'extraction en principaux composés bioactifs de la plante sont résumés dans le (Tableau 10). L'usage de l'éthanol aqueux a permis d'extraire l'essentiel des composés bioactifs de la menthe poivrée avec un rendement d'extraction d'environ 16.16%, en moyenne. L'extrait analysé s'est avéré très riche (+++) en phénols totaux et moins riche (++) en flavonoïdes, coumarines ainsi qu'en stérols. Il renferme également des traces (+) d'alcaloïdes, de tanins catéchiques, d'anthocyanes et de sucres réducteurs; alors qu'aucune présence des tannins galliques, des triterpènes, des quinones et des saponines n'a été constatée.

Tableau 10. Principales substances phytochimiques recensées dans l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L.

Composés phytochimiques	Tests	Résultats	Rendement d'extraction
Phénols	FeCl ₃	+++	16.16%
Alcaloïdes	Réactif de Dragendorff	+	
	Réactif de Bouchardat	+	
	Réactif de Mayer & Wagner	+	
Flavonoïdes	AlCl ₃	++	
Tanins galliques	FeCl ₃	-	
Tanins catéchiques	FeCl ₃	+	
Anthocyanes	NH ₄ OH	+	
Leucoanthocyanes	Alcool isoamylique	-	
Coumarines	NaOH	++	
Stérols	Liebermann-Burchard	++	
Triterpènes	Liebermann-Burchard	-	
Quinones	NH ₄ OH	-	
Saponine	Mousse	-	
Sucres réducteurs	Fehling	+	

+++ : réaction franchement positive ; ++ : réaction positive ; + : réaction moyennement positive ; ± : réaction louche ; - : réaction négative.

1.2. Composés bioactifs de l'extrait

Les résultats du dosage des composés phénoliques totaux, flavonoïdes et tanins condensés sont indiqués dans le (Tableau 11). L'extrait hydroéthanolique des parties aériennes de *Mentha piperita* L. comportant majoritairement les feuilles de la plante a présenté des teneurs en composés phénoliques totaux de l'ordre de 41.29 mg EAG/ml EHEMP. Ces valeurs ont été évaluées à 6.26 g EAG/100 g de poudre de menthe poivrée (PMP) et à 359.61 mg EAG/g

d'extrait lyophilisé (*EL*). Les flavonoïdes totaux ont été estimés à 22.66 mg EQ/ml *EHEMP*, à 3.40 g EQ/100g *PMP* et à 219.77 mg EQ/g *EL*. Enfin, le contenu de l'extrait en tannins condensés a été de l'ordre de 0.59 mg EC/ml *EHEMP*, ce qui équivaut à une teneur d'environ 0.09 g EQ/100g *PMP* et de 4.80 mg E mg EQ/g *EL*.

Tableau 11. Dosage des composés phénoliques de l'extrait hydroéthanolique de Menthe poivrée.

Composés bioactifs	Echantillons	Teneurs
Composés phénoliques totaux	Poudre de la plante (g EAG/100g <i>PMP</i>)	06.26 ± 0.16
	Extrait liquide (mg EAG/ml <i>EHEMP</i>)	41.29 ± 0.63
	Extrait lyophilisé (mg EAG/g <i>EL</i>)	359.61±0.06
Flavonoïdes totaux	Poudre de la plante (g EQ/100g <i>PM</i>)	03.40 ±0.10
	Extrait liquide (mg EQ/ml <i>EHEMP</i>)	22.66 ± 0.07
	Extrait lyophilisé (mg EQ/g <i>EL</i>)	219.77±4.41
Tannins condensés	Poudre de la plante (g EC /100g <i>PM</i>)	00.09 ± 0.01
	Extrait liquide (mg EC/ml <i>EHEMP</i>)	00.59 ± 0.07
	Extrait lyophilisé (mg EC/g <i>EL</i>)	04.80 ± 0.54

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions *n* égal à 03 (*n* = 3); *PMP*: poudre de *Mentha piperita* L ; *EHEMP*: extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L.; *EL*: extrait lyophilisé; EAG: équivalent en acide gallique; EQ: équivalent en quercétine; EC: équivalent en Catéchine.

1.3. Profil en composés phénoliques de l'extrait

L'analyse LC-MS/MS a permis la détection et la quantification de 27 composés phénoliques et non phénoliques parmi 56 standards phytochimiques utilisés (**Tableau 12 ; Figures 11 et 12**).

Globalement, les résultats de la présente analyse ont révélé dans l'extrait hydroéthanolique de menthe poivrée un contenu très important en acides phénoliques estimé à 93.35% de la totalité des substances phytochimiques détectées. Cette fraction est constituée en quasi totalité d'acide rosmarinique à 92.95%. En ce qui concerne les flavonoïdes, ils ont été relevés à seulement 6.16% ; tandis que les aldéhydes phénoliques n'ont représenté qu'une très faible proportion (0.04%). Il est à noter que sur la totalité des constituants identifiés 0.46% d'acides non phénoliques a été également détectée au sein de l'extrait analysé. Il a été constaté en outre que la fraction des flavonoïdes était principalement composée de flavones à 76.83% ainsi que de flavanones à 18.17% et de flavonols à 4.49 et d'isoflavones à seulement 0.21% (**Figure 11**).

Parmi les composés phénoliques identifiés, l'acide rosmarinique est manifestement et majoritairement le composé phénolique le plus abondant (339.88 mg/g d'extrait sec) constituant une portion de 86.73% de la totalité des composés phénoliques identifiés dans l'extrait sec hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., suivi de l'acide quinique à un taux considérable de 21.026 mg/g d'extrait (5.37% des composés détectés) et de deux flavones dont le cyranoside et le cosmosiin (11.055 vs 5.424 mg/g d'extrait sec) qui ont représenté 2.822% et 1.384% respectivement de la totalisé des composés identifiés, ainsi que de l' hespéridine de la familles des flavanones (3.925 mg/g d'extrait sec soit l'équivalent d'environ 1% de la totalité des

substances phytochimiques identifiées) et des acides caféique (1.629 mg/g d'extrait sec), chlorogénique (1.498 mg/g d'extrait sec) et protocatéchique (0.918 mg/g d'extrait sec), puis viennent les deux flavones à savoir le lutéoline et l'acacétine (0.904 vs 0.805 mg/g d'extrait sec) et enfin la rutine (flavonol), l'acide p-coumarique (flavonol), l'isoquercitrine (flavonoïde glycosidique) et l'apigénine (flavone) qui sont faiblement représentés avec des concentrations de 0.638, 0.406, 0.393 et 0.364 mg/g d'extrait sec, respectivement (**Tableau 12 ; Figure 12**).

Tableau 12. Profile en composés bioactifs de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. identifié par analyse LC-MS/MS.

Composés identifiés		RT ^a (min)	LOD/LOQ (µg/l) ^f	U ^g	Teneurs (mg/g ES)
Acides organiques	Acide Fumarique	03.90	135.7/167.9	0.0091	01.819 ± 0.02
	Acide Quinique	03.00	25.7/33.3	0.0372	21.026 ± 0.78
Acides phénoliques	Acide Gallique	04.40	13.2/17.0	0.0112	00.150 ± 0.02
	Acide Protocatéchuique	06.80	21.9/38.6	0.0350	00.918 ± 0.03
	Acide Gentisique	08.30	18.5/28.2	0.0167	00.045 ± 0.00
	Acide Chlorogénique	08.40	13.1/17.6	0.0213	01.498 ± 0.03
	Acide Caféique	12.10	7.7/9.5	0.0152	01.629 ± 0.03
	Acide p-Coumarique	17.80	25.9/34.9	0.0194	00.406 ± 0.08
	Acide Salicylique	21.80	6.0/8.3	0.0158	00.103 ± 0.02
	Acide Rosmarinique	26.60	16.2/21.2	0.0130	339.88 ± 4.42
	Flavones	Cynaroside	23.70	12.1/16.0	0.0366
Cosmosiine		28.20	6.3/9.2	0.0083	05.424 ± 0.05
Lutéoline		36.70	2.6/4.1	0.0313	00.904 ± 0.03
Chryisine		40.50	1.5/2.8	0.0323	00.004 ± 0.00
Acacétine		40.70	1.5/2.5	0.036	00.805 ± 0.03
Apigénine		38.20	1.3/2.0	0.0178	00.364 ± 0.01
Isoflavones	Genistéine	36.90	3.7/5.3	0.0337	00.051 ± 0.00
Flavanones	Hespéridine	25.80	19.0/26.0	0.0335	03.925 ± 0.13
	Naringénine	35.90	2.6/3.9	0.0392	00.212 ± 0.01
	Hespérétine	36.70	2.6/3.9	0.0392	00.248 ± 0.01
	Amentoflavone	39.70	2.8/5.1	0.0340	00.003 ± 0.00
Flavonols	Rutine	25.60	15.7/22.7	0.0247	00.638 ± 0.02
	Isoquercitrine	25.60	8.7/13.5	0.0220	00.393 ± 0.09
	Astagaline	30.40	6.6/8.2	0.0114	00.065 ± 0.00
	Kaempférol	37.90	10.2/15.4	0.0212	00.061 ± 0.00
Aldéhydes phénoliques	aldéhydes Protocatéchuique	08.50	15.4/22.2	0.0396	00.164 ± 0.01

Les résultats sont représentés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03; RT^a : Temps de rétention; LOD/LOQ (µg/L)^f: Limite de détection/Limite de quantification; U^g (%) : pourcentage d'incertitude relative à un niveau de confiance de 95% (k = 2) ;ES :extrait sec.

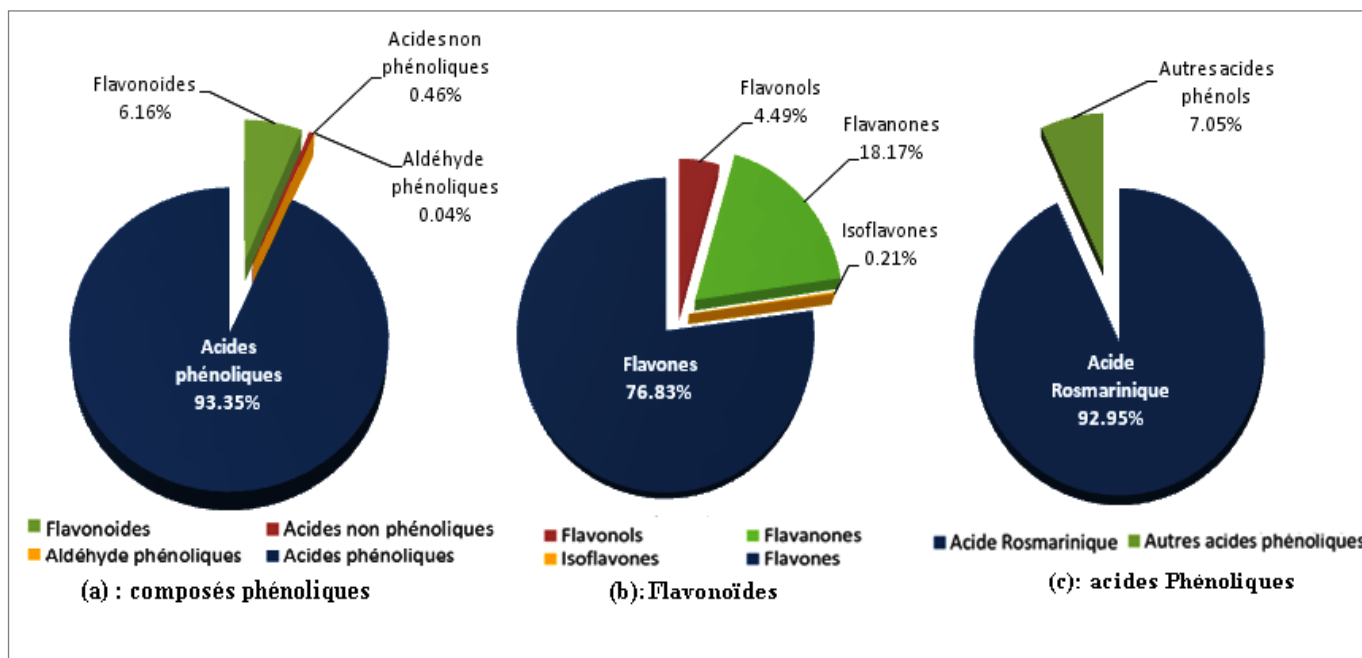


Figure 11. Proportion en composés phytochimiques détectés par analyse LC-MS/MS dans le contenu lyophilisé d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L.

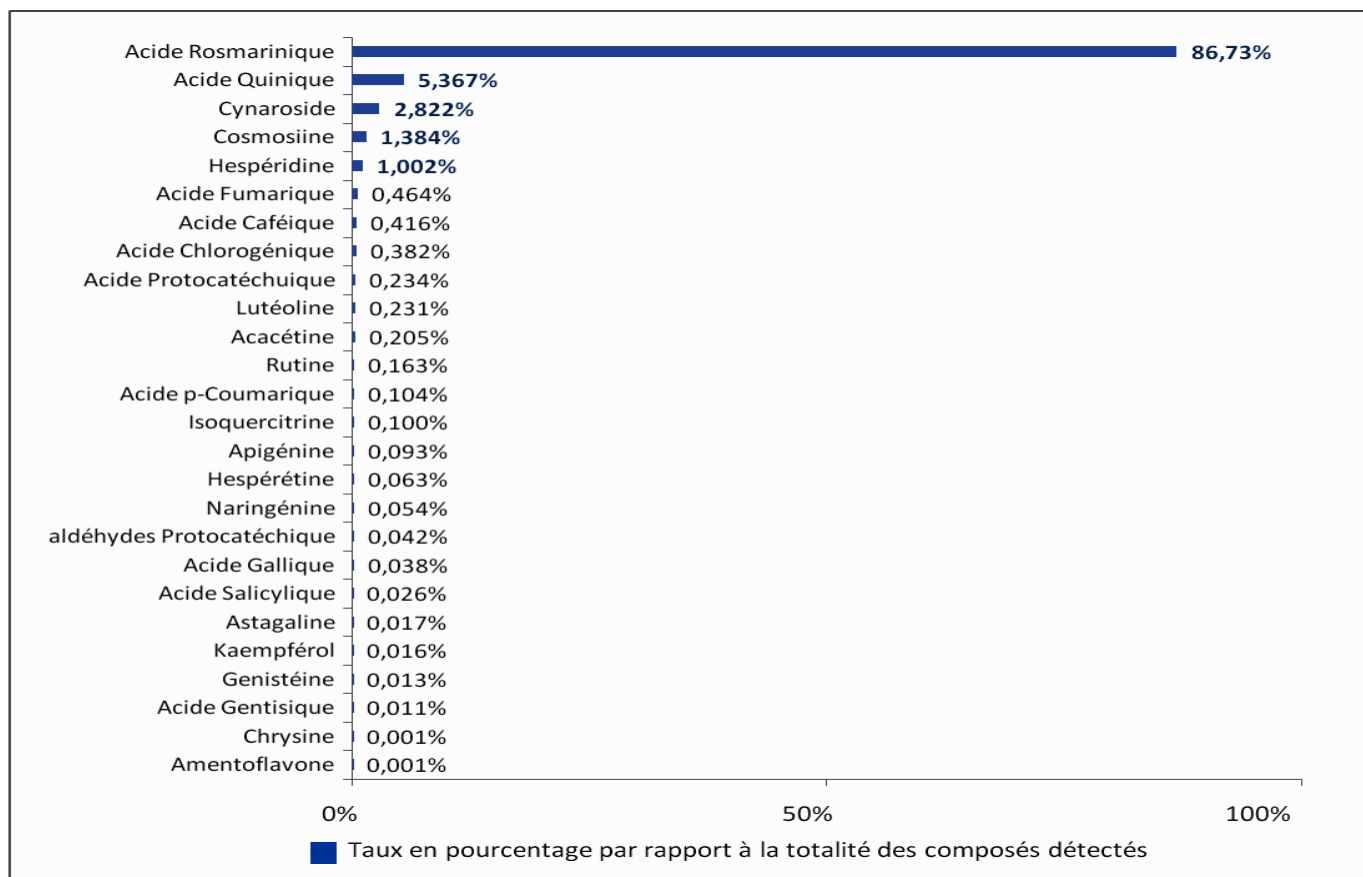


Figure 12. Taux (%) des composés actifs détectés dans l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. par analyse LC-MS/MS.

Par ailleurs, l'extrait de menthe poivrée s'avère contenir des teneurs non négligeables en d'autres composés phénoliques dont 03 acides phénoliques en l'occurrence l'acide gallique (0.15 mg/g d'extrait sec), l'acide salicylique (0.103 mg/g d'extrait sec) et l'acide gentsique (0.045 mg/g d'extrait sec); 1 flavone représenté par la chrysin (0.004 mg/g d'extrait sec); 2 flavonols dont l'astragaline (0.065mg/g d'extrait sec) et le kaempférol (0.061 mg/g d'extrait sec); 2 flavanones constitués d'hespétine (0.248 mg/g d'extrait sec) et de naringénine (0.212 mg/g d'extrait sec) ; 1 aldéhyde protocatéchique (0.164 mg/g d'extrait sec) qui est un aldéhyde phénolique ; 1 isoflavone formé de génistéine (0.051 mg/g d'extrait sec) et enfin d'une faible teneur d'amentoflavone qui est un biflavonoïde (0 .003 mg/g d'extrait sec).

1.4. Activité antioxydante

Les résultats d'évaluation du potentiel antioxydant de l'extrait hydroéthanolique de la partie aérienne de *Mentha piperita* L. ont montré des IC₅₀ relatives au piégeage des radicaux libres DPPH et ABTS estimées à 3.16 et 2.50 mg de lyophilisat d'extrait de menthe/ml, respectivement. Ces valeurs restent supérieures à celles des deux standards testés (acide ascorbique et quercétine) qui ont enregistré des IC₅₀ plus intéressantes correspondant respectivement à des valeurs de 0.16 mg d'acide ascorbique/ml et 0.03 mg de quercétine/ml pour le test au DPPH et à 1.36 mg d'acide ascorbique/ml et 1.17 mg de quercétine/ml pour le test d'ABTS (**Tableau 13 ; Figure 13**).

Tableau 13. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., en comparaison à l'ascorbate et à la quercétine.

Extrait de la plante et standards	IC ₅₀ (mg/ml)	
	DPPH	ABTS
Extrait lyophilisé (mg de lyophilisat d' <i>EHEMP</i>)	03.16 ^a ± 0.05	02.50 ^a ± 0.09
Acide ascorbique (mg d'acide ascorbique/ml)	00.16 ^b ± 0.01	01.36 ^b ± 0.03
Quercétine (mg de quercétine/ml)	00.03 ^b ± 0.00	01.17 ^c ± 0.04

Les résultats sont exprimés en moyennes, suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égal à 3 (n=03) ; IC₅₀ : concentration d'extrait ou de standard nécessaire pour inhiber 50% des radicaux DPPH ou ABTS. Un effet hautement significatif P < 0.01 du facteur étudié a été enregistré ; a ,b,c : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls.

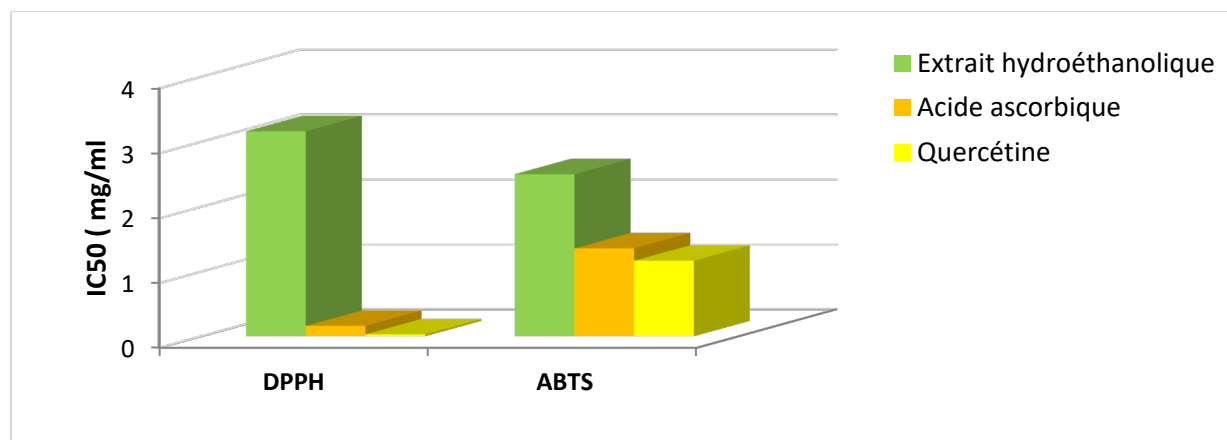


Figure 13. Histogrammes des IC₅₀ de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., de l'acide ascorbique et de la quercétine obtenus par les tests DPPH et ABTS.

1.5. Activité antibactérienne

1.5.1. Test de croissance

Les résultats du test de croissance ont montré un développement des *Streptococcus thermophilus* inversement proportionnel aux concentrations d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita*.L.

Une nette régression ($p < 0.01$) nombre des germes a été enregistrée allant de $300 \cdot 10^5$, à $225 \cdot 10^5$, à $102 \cdot 10^5$ et à $58 \cdot 10^5$ UFC/ml correspondant à des taux de croissance qui ont diminué de 84.27, à 63.20, à 28.65 et à 16.29% pour des concentrations d'extrait variables de 20, à 40, à 60 et à 80% respectivement, par rapport au témoin (0%) à l'eau sans extrait testé ou les St ont présenté une croissance maximale de $356 \cdot 10^5$ UFC/ml.

Aucune prolifération de ces bactéries lactiques n'a été, en revanche, observée dans l'extrait pure de la plante préparé à 100%.

De la même manière pour les *Lactobacillus bulgaricus*, l'analyse de la variance a dévoilé une nette diminution ($p < 0.01$) du nombre des germes en fonction de l'élévation de la concentration de l'extrait hydroéthanolique de la plante étudiée.

En effet, à des concentrations de 0, 20, 40, 60, 80 et 100 % d'extrait le dénombrement des *Lb* a révélé une décroissance de $300 \cdot 10^5$, à $220 \cdot 10^5$, à $182 \cdot 10^5$, à $45 \cdot 10^5$, à $33 \cdot 10^5$ et à 0 UFC/ml correspondant à des taux de croissance qui ont diminué respectivement de 100, à 73.3, à 60.67, à 15, à 11 et à 0% (Tableau 14 ; Figure 14).

Tableau 14. Effets des différentes concentrations d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt.

Espèces bactériennes	Paramètres	Concentrations d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha Piperita</i> L.						Valeur de p
		0%	20%	40%	60%	80%	100%	
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Nx10 ⁵ UFC/ml	356 ^a	300 ^b	225 ^c	102 ^d	58 ^e	00 ^e	p<0.01
	Taux de croissance(%)	100 ^a	84.26 ^b	63.20 ^c	28.65 ^d	16.29 ^d	00 ^d	
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Nx10 ⁵ UFC/ml	300 ^a	220 ^b	182 ^c	45 ^d	33 ^d	00 ^d	p<0.01
	Taux de croissance(%)	100 ^a	73.33 ^b	60.67 ^c	15 ^d	11 ^d	00 ^d	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes avec un nombre de répétitions n= 3 ; N : nombre de colonies ; UFC : unité formant colonie; $p > 0.05$: effet non significatif du facteur étudié (concentrations en extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L.) ; $P < 0.05$: effet significatif du facteur étudié ; P : seuil de probabilité ; $P < 0.01$: effet hautement significatif du facteur étudié ; a ,b,c ... etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman- Keuls.

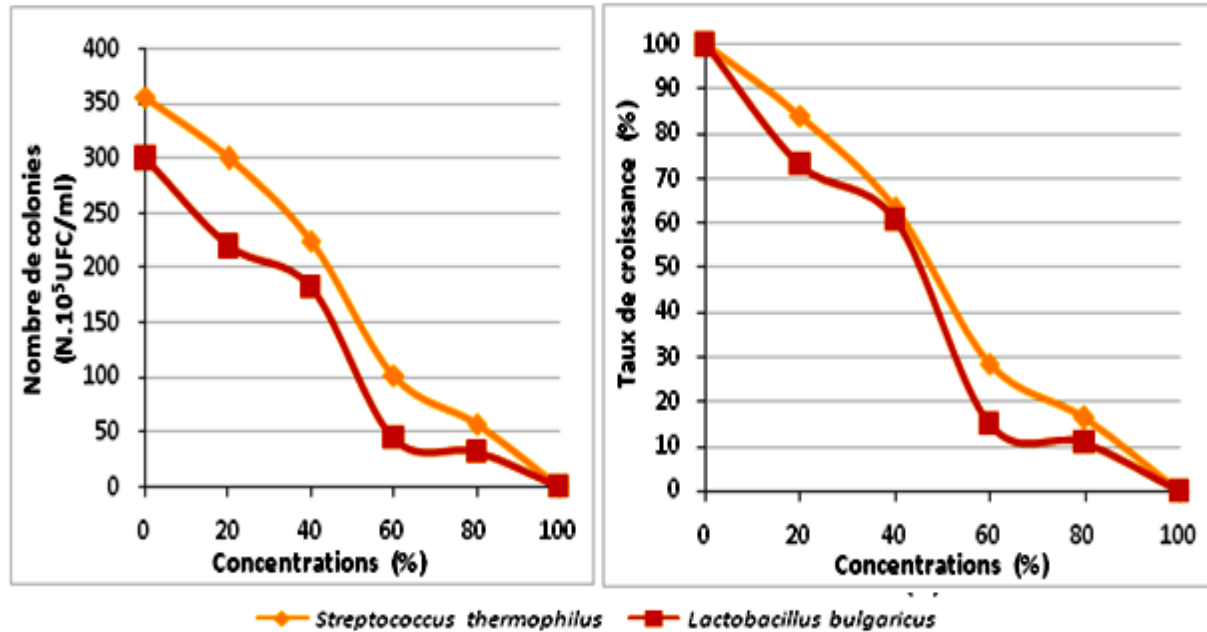


Figure 14. Effets des concentrations de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sur la croissance (en UFC/ml) et le taux de croissance (%) des germes spécifiques du yaourt.

1.5.2. Diamètres d'inhibition

Les diamètres d'inhibition des bactéries starters du yaourt induits par les concentrations d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sont indiqués dans le (Tableau 15) et illustrés par la (Figure 15).

L'apparition des zones d'inhibition ont été observées à partir de la dilution de 40% d'extrait pour les deux bactéries étudiées à savoir *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* ; 7.5 et 7.67 mm, respectivement. Ces diamètres se sont avérés ensuite d'autant plus remarquables ($p < 0.01$) que l'extrait est fortement concentré.

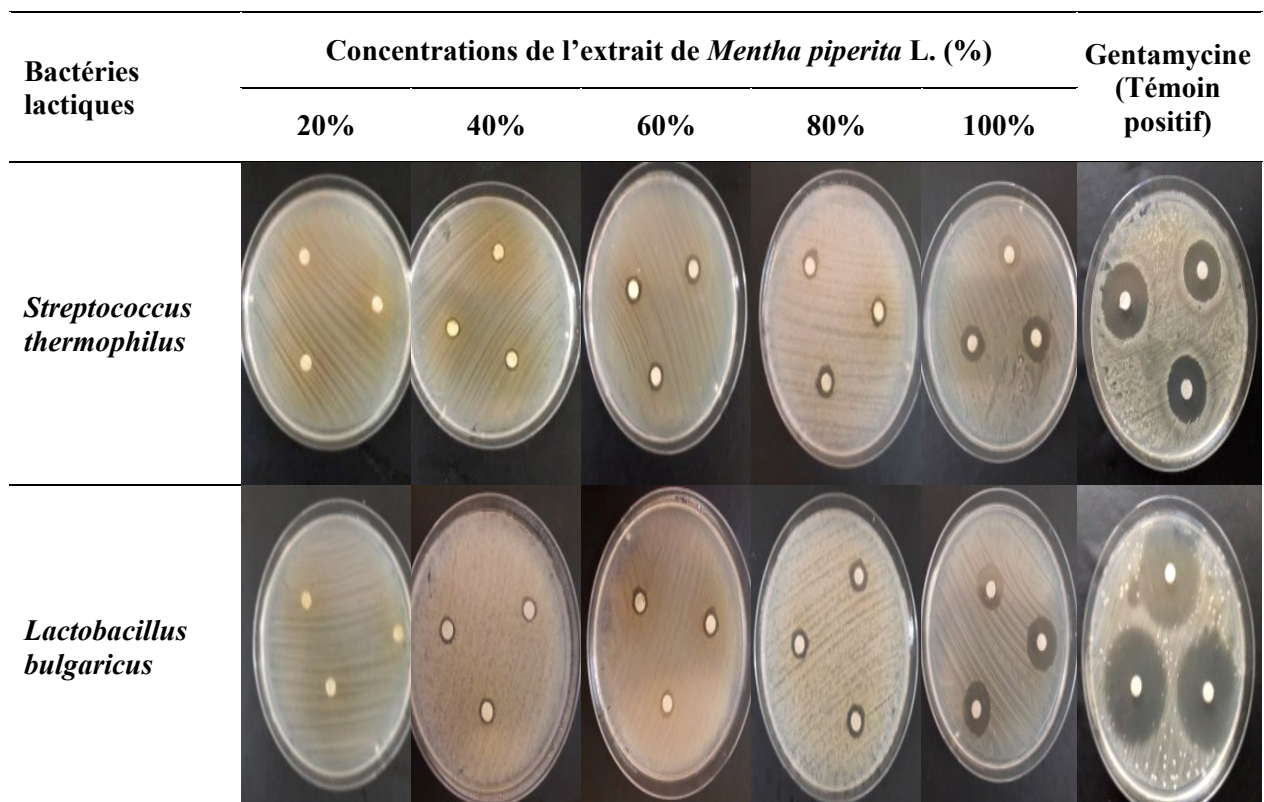
Les diamètres les plus importants ($p < 0.01$) ont été ainsi obtenus chez les deux germes étudiés avec l'extrait brut (concentré à 100%) ; 13.67 et 16.67, respectivement. Ces valeurs se sont avérées inférieures ($p < 0.01$) à celles de la Gentamycine qui ont exprimé vis-à-vis de ces deux bactéries des diamètres d'inhibition de 21.67 et 33.33 mm, successivement.

Par comparaison à la gentamycine, l'extrait pur a présenté, toutefois, une activité antimicrobienne nettement supérieure à celle des différentes concentrations d'extrait de la plante ($p < 0.01$); avec des taux d'inhibitions de 63.08% chez *Streptococcus thermophilus* contre 50% chez *Lactobacillus bulgaricus*. Pratiquement à 20% d'extrait la prolifération des germes spécifiques du yaourt n'a pas été affectée.

Tableau 15. Effets des concentrations d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sur les variations des zones et des taux d'inhibition des germes spécifiques du yaourt.

Bactéries lactiques	Paramètres	Concentrations d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L.					Genta.	Effet des concentrations de l'extrait
		20%	40%	60%	80%	100%		
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Diamètres d'inhibition (mm)	00 ^d	07.50 ^d ± 0.29	7.67 ^d ± 0.58	09.67 ^c ± 1.15	13.65 ^b ± 0.57	21.67 ^a ± 2.08	p<0 .01
	Taux d'inhibition(%)	00 ^e	34.61 ^d	35.39 ^c	44.62 ^c	63.08 ^b	100 ^a	
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Diamètres d'inhibition (mm)	00 ^e	07.67 ^d ± 0.55	09 ^c .00 ± 0.50	10.33 ^c ± 1.15	16.67 ^b ± 1.52	33.33 ^a ± 0.57	p<0 .01
	Taux d'inhibition(%)	00 ^e	23 ^d .00	27 ^d .00	31 ^c .00	50 ^b .00	100 ^a	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes avec un nombre de répétitions n= 3 ; P < 0.01 effet hautement significatif du facteur étudié (concentrations en extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L.); Genta : Gentamycine; a ,b,c ... etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman- Keuls.

**Figure 15.** Zones d'inhibition entraînées par les différentes concentrations d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. et de la Gentamycine chez les deux germes spécifiques du yaourt.

1.5.3. Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI)

Les résultats de mesure de la turbidité induite par la croissance des bactéries spécifiques du yaourt sont configurés dans le (Tableau 16).

Les concentrations de 20 et 40% d'extrait de *Mentha piperita* L., ont laissé un taux de survie d'environ 60.87 et 58.7% des *Streptococcus thermophilus* dont la croissance s'est toutefois annulée d'une manière absolue à partir d'une concentration de 60% d'extrait de la plante considérée ainsi comme étant la concentration minimale inhibitrice (CMI) vis-à-vis du germe étudié.

Concernant les *Lactobacillus bulgaricus* leur taux de survie enregistré en présence de 20% d'extrait était de 37.88%; alors que leur prolifération semble s'estompée à une concentration de 40% d'extrait hydroéthanolique de la menthe poivrée qui représente ainsi la CMI pour ce dernier germe.

Tableau 16. Evaluation des CMI de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des bactéries starters du yaourt.

Bactéries lactiques	Mesures	Concentrations d'extrait hydroéthanolique de <i>Mentha piperita</i> L. (%)					
		Témoin (0%)	20%	40%	60%	80%	100%
<i>Streptococcus thermophilus</i>	di (DO)	0.01	0.09	0.36	3.36	0.36	0.40
	df (DO)	0.06	0.12	0.39	0.210	0.29	0.28
	df-di (DO)	0.05	0.03	0.03	-0.151	-0.07	-0.12
	Df-Di (DO)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	S (%)	100%	60.87%	58.70%	0 %	0 %	0 %
CMI = 60%							
<i>Lactobacillus Bulgaricus</i>	di (DO)	0.04	0.09	0.24	0.36	0.30	0.43
	df (DO)	0.10	0.11	0.11	0.19	0.17	0.25
	df-di (DO)	0.06	0.02	-0.12	-0.16	-0.14	-0.18
	Df-Di (DO)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	S%	100%	37.88%	0%	0%	0%	0%
CMI = 40%							

CMI: concentration Minimale Inhibitrice ; S:Taux de survie du microorganisme en%; df-di: différence de densité optique de la solution d'extrait de Menthe ensemencée au germe étudié avant et après incubation à 37°C durant 24 heures; Df-Di : différence entre les densités optiques avant et après incubation du témoin (0%) à leau sans extrait phénolique et ensemencé au germe étudié.

1.5.4. Concentrations Minimales Bactéricides (CMB)

La (Figure 16) représente d'une part le développement sur milieu gélosé des différentes dilutions allant de 10^{-1} , à 10^{-2} , à 10^{-3} et à 10^{-4} des germes lactiques étudiées (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) et d'autre part leur croissance après avoir été cultivées pendant 24heures en présence d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., à différentes concentrations d'extrait de menthe poivrée. D'après les résultats obtenus, l'extrait préparé à 60%,

représente la concentration minimale bactéricide (CMB) qui a engendré un pourcentage de survie des *Streptococcus thermophilus* et des *Lactobacillus bulgaricus* proche de 0.01%.

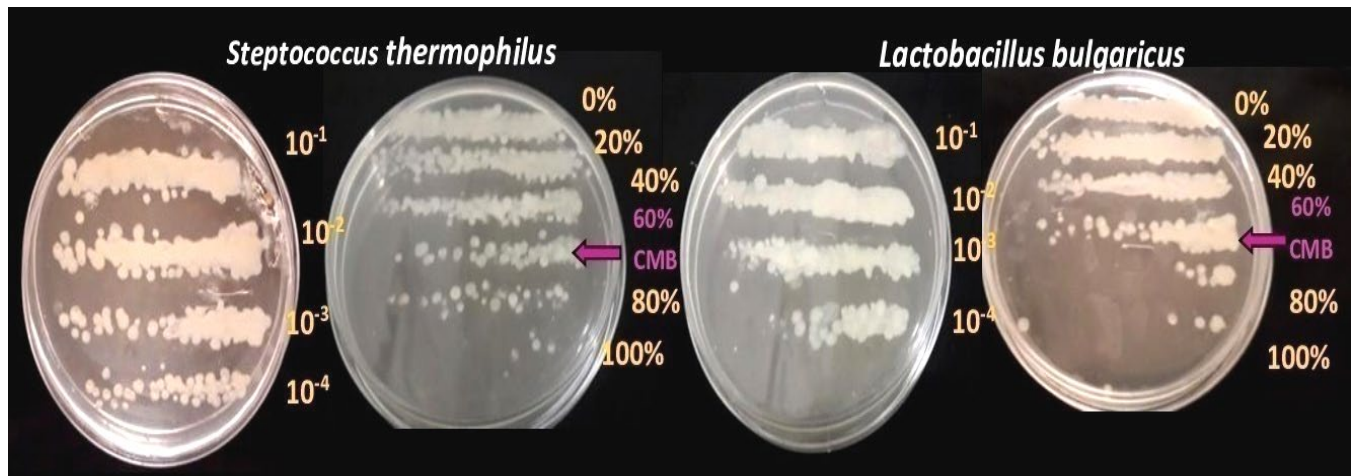


Figure 16. Evaluation des CMB de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.

1.5.5. Types d'inhibition

Selon le rapport CMB/CMI qui est égale à 01.33 pour les *Streptococcus thermophilus* et 02 pour les *Lactobacillus bulgaricus* l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. s'avère exercer un effet de type bactéricide vis-à-vis des deux germes spécifiques du yaourt (**Tableau 18**).

Tableau 17. Types d'inhibition de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.

Espèces bactériennes	CMI	CMB	CMB /CMI	Effet inhibiteur
<i>Streptococcus thermophilus</i>	60%	60%	1.33	Bactéricide
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	40%	60%	2	Bactéricide
	Normes		<ul style="list-style-type: none"> - CMB/CMI ≤ 2 (Effet bactéricide) - CMB/CMI ≥ 2 (Effet bactériostatique) 	

1.6. Qualité du yaourt à l'extrait de menthe

1.6.1. Viabilité des bactéries starters du yaourt

L'évolution du nombre de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* dans les yaourts étuvés additionnés ou non d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post-acidification est donnée dans le (**Tableau 18**) et présentée aussi dans la (**Figure 17**).

Le nombre des bactéries *Streptococcus thermophilus* a évolué significativement ($p < 0.01$) et d'une manière proportionnelle en fonction du temps avec un accroissement allant de $33 \cdot 10^5$; à $51 \cdot 10^5$ et à $142 \cdot 10^5$ UFC/ml en moyenne au début, après 2 heures et 4 heures de fermentation respectivement et des proliférations qui ont varié de $232 \cdot 10^5$; à $257 \cdot 10^5$ et à 266 UFC/ml en moyenne successivement au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de réfrigération.

A la fin de la période de fermentation et durant les 21 jours de la période de post acidification l'élévation des taux d'incorporation de 0, à 2, à 4 et à 6% de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., semble réduire proportionnellement et significativement ($p < 0.01$) l'accroissement du germe *S.thermophilus* dans les produits.

En effet, au terme de la fermentation, après 4 heures, le témoin s'est démarqué ($p < 0.01$) avec un nombre de germes le plus élevé de $186 \cdot 10^5$ UFC/ml ; alors que les Yaourts préparés à 2, 4 et à 6% d'extrait ont enregistré un nombre de *St* de $170 \cdot 10^5$, $115 \cdot 10^5$ et 97.10^5 UFC/ml, respectivement.

De même, au cours de la période de post acidification, le nombre de ces germes a continué à diminuer ($p < 0.01$) en fonction des doses d'extrait ajoutées; respectivement de $320 \cdot 10^5$, à $254 \cdot 10^5$, à $232 \cdot 10^5$ et à $123 \cdot 10^5$ UFC/ml au 7^{ème} jour, de $330 \cdot 10^5$, à $283 \cdot 10^5$, à $240 \cdot 10^5$ et à $176 \cdot 10^5$ UFC/ml au 14^{ème} jour et de $338 \cdot 10^5$, à $292 \cdot 10^5$, à $255 \cdot 10^5$ et à $182 \cdot 10^5$ UFC/ml au 21^{ème} jour.

Comme pour les *S.thermophilus* le nombre de *L.bulgaricus* a augmenté progressivement de $13 \cdot 10^5$ UFC/ml au début de la fermentation, à $20 \cdot 10^5$ UFC/ml en moyenne après 2 heures et à $87 \cdot 10^5$ UFC/ml en moyenne en fin de fermentation, pour atteindre des valeurs de $153 \cdot 10^5$, $186 \cdot 10^5$ et $192 \cdot 10^5$ UFC/ml en moyenne, respectivement, au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de la période de post acidification.

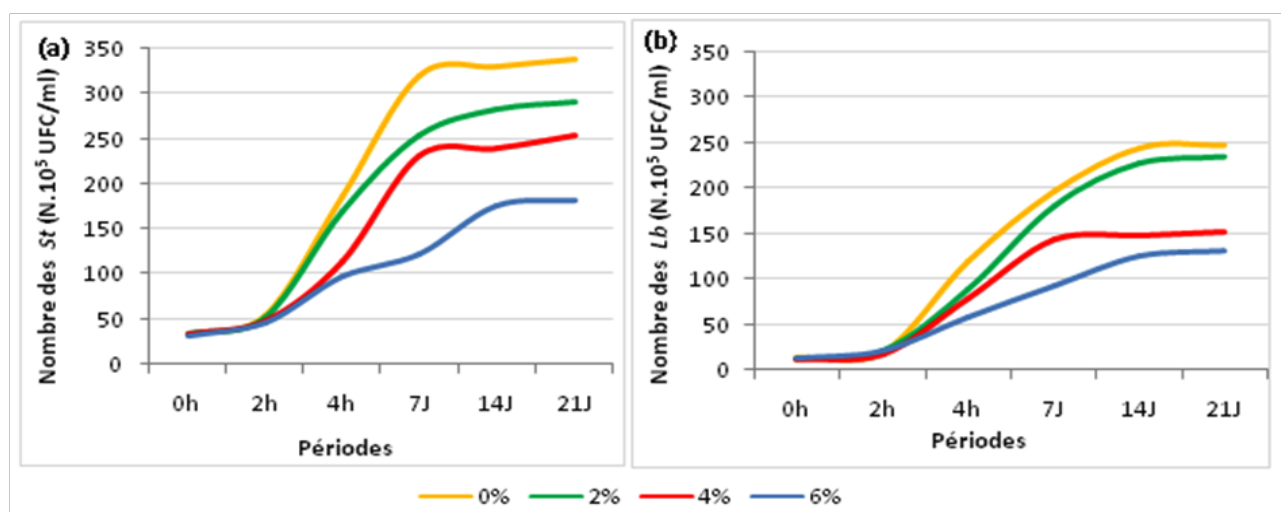
Les résultats du dénombrement des *L.bulgaricus* ont démontré des décroissances hautement significatives ($p < 0.01$) en fonction des doses d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., ajoutées dans les produits ; soit un nombre de germes qui a varié au terme de la fermentation de $120 \cdot 10^5$, à $89 \cdot 10^5$, à $78 \cdot 10^5$ et à $59 \cdot 10^5$ UFC/ml pour le yaourt témoin et ceux préparés à 2, 4 et 6% respectivement.

Par ailleurs, durant les 21 jours de la période de post acidification, le nombre des *Lb* a évolué d'une manière hautement significative et inversement proportionnelle ($p < 0.01$) aux proportions croissantes de 0, à 2, à 4 et à 6% d'extrait incorporées dans les yaourts ; avec des baisses ($P < 0.01$) respectives variables de $196 \cdot 10^5$, à 181 , à 143 et à $93 \cdot 10^5$ UFC/ml au 7^{ème} jour, de $245 \cdot 10^5$, à $227 \cdot 10^5$, à $148 \cdot 10^5$ et à $125 \cdot 10^5$ UFC/ml au 14^{ème} et de $248 \cdot 10^5$, à $235 \cdot 10^5$, à $152 \cdot 10^5$ et à $131 \cdot 10^5$ UFC/ml au 21^{ème} jour.

Tableau 18. Evolution du nombre de *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus bulgaricus* ($N \cdot 10^5$ UFC/ml) dans les yaourts étuvés additionnés d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post-acidification.

Paramètres	Périodes	Taux d'incorporation (%) d'EHEMP				Moyennes (F1)	Effet F1	Effet F2	Effet Int. F1×F2		
		0%	2%	4%	6%						
<i>S. thermophilus</i>	Fermentation	0h	033 ^f	034 ^f	033 ^f	031 ^f	33 ^c	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		2h	55 ^e	052 ^e	049 ^e	047 ^e					51 ^b
		4h	186 ^a	170 ^b	115 ^c	097 ^d					142 ^a
		Moyennes (F2)	91 ^a	85 ^b	66 ^c	58 ^d	-				
	Post acidification	7J	320 ^b	254 ^d	232 ^e	123 ^g	232 ^c	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		14J	330 ^{ab}	283 ^c	240 ^e	176 ^f					257 ^b
		21J	338 ^a	292 ^c	255 ^d	182 ^f					266 ^a
	Moyennes (F2)	329 ^a	276 ^b	242 ^c	160 ^d	-					
<i>L. bulgaricus</i>	Fermentation	0h	014 ^f	013 ^f	012 ^f	013 ^f	13 ^c	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		2h	020 ^e	022 ^e	018 ^f	021 ^e					20 ^b
		4h	120 ^a	089 ^b	078 ^c	059 ^d					87 ^a
		Moyennes (F2)	51 ^a	41 ^b	36 ^c	31 ^d	-				
	Post acidification	7J	196 ^d	181 ^e	143 ^f	093 ^j	153 ^c	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		14J	245 ^a	227 ^c	148 ^{fg}	125 ⁱ					186 ^a
		21J	248 ^a	235 ^b	152 ^f	131 ^h					192 ^a
	Moyennes (F2)	230 ^a	214 ^b	148 ^c	116 ^d	-					

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes, avec un nombre de répétitions n=03; EHEMP : extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. ; h : heures; J : jour ; N : nombre de colonies; UFC : unité formant colonie ; ml : millilitre ; F1 : facteur périodes ; F2 : facteur concentrations d'extrait incorporées ; F1×F2 : interaction des deux facteur(périodes et concentrations d'extrait ; p< 0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié; *S. thermophilus*: *Streptococcus thermophilus* ; *L. bulgaricus* : *Lactobacillus bulgaricus* ; a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman- Keuls.

**Figure 17.** Evolution du nombre ($N \cdot 10^5$ UFC/ml) des *Streptococcus thermophilus* (St) et *Lactobacillus bulgaricus* (Lb) dans les yaourts enrichis d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.

1.6.2. Qualité physicochimique

Les résultats présentés dans le (**Tableau 19**) et illustrés dans la (**Figure 18**) ont montré une nette diminution des valeurs de pH des yaourts expérimentaux de 6.43, à 5.41, à 4.90, à 4.64, à 4.59 et à 4.54, en moyenne, en fonction du temps ; du début de la fermentation jusqu'au terme de la phase de post acidification. Durant ces deux périodes expérimentales les valeurs de pH mesurées ont montré une évolution hautement significative ($p < 0.01$) proportionnelle au taux d'extrait de *Mentha piperita* L., ajoutés.

A la fin de la phase de fermentation, les valeurs de pH ont varié de 4.58, à 4.77, à 4.98 et à 5.27 dans les yaourts à 0, 2, 4 et 6% d'extrait de menthe poivrée, respectivement. Cette tendance est maintenue au cours de la période de post acidification ou les valeurs de pH de ces produits ont augmenté ($p < 0.01$) successivement de 4.52, à 4.56, à 4.69 et à 4.78 au 7^{ème} jour, de 4.38 à 4.55, à 4.67 et à 4.76 au 14^{ème} jour et de 4.21, à 4.53, à 4.66 et à 4.76 au 21^{ème} jour de conservation à 6°C.

Concernant l'acidité, les valeurs Dornic enregistrées dans les yaourts semblent suivre une évolution inverse au pH. En effet, les teneurs moyennes mesurées dans l'ensemble des produits expérimentaux ont augmenté proportionnellement de 18.33 à 76.42°D après 4 heures de fermentation, à environ 85.77°D au 21^{ème} jour de conservation à 6°C.

En outre, durant toute l'expérimentation, l'acidité s'est avérée aussi inversement proportionnelle ($p < 0.1$) avec l'augmentation de 0, à 2, à 4 et à 6% des quantités d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., ajoutées aux yaourts. Cela s'est, remarquablement, manifesté avec des niveaux d'acidité qui ont nettement diminué ($p < 0.01$) dans les produits respectivement de 80,33, à 78.33, à 76.33 et à 70.67 °D en fin de fermentation au 1^{er} jour et de 98.5, à 89.46, à 80.67 et à 74.45 °D en fin de la période de post-acidification.

La viscosité des yaourts expérimentaux a connu une évolution proportionnelle en fonction du temps; avec des valeurs moyennes qui ont augmenté de 0.88 m²/s au démarrage de la fermentation, à 38.22 m²/s après 4 heures de fermentation et à 58.08 m²/s au terme de la période de post acidification.

Par ailleurs, pendant les deux périodes de l'étude, il apparait nettement que la viscosité devient de moins en moins accentuée ($p < 0.01$) avec l'augmentation des doses d'extrait de 0, à 2, à 4 et à 6% incorporées dans les laits fermentés. En effet, les valeurs enregistrées dans les produits ont varié respectivement ($p < 0.01$) de 52.33, à 45.75, à 35.34 et à 19.46 m²/s à la fin de la fermentation et de 85.30, à 73.41, à 47.37 et à 26.24 m²/s à la fin d'entreposage après 21 jours (**Tableau 19 ; Figures 18**).

Tableau 19. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. à différentes concentrations sur les variations du pH, d'acidité (°D) et de la viscosité (m²/s) d'un yaourt étuvé.

Paramètres	Périodes		Taux d'incorporation (%) d'extrait de <i>Mentha Piperita</i> L.				(F1) Moyennes ± ES	Effet F1	Effet F2	Effet Int. F1×F2
			0%	2%	4%	6%				
pH	Fermentation	0h	06.43 ^a ± 0.01	06.44 ^a ± 0.01	06.42 ^a ± 0.03	06.43 ^a ± 0.02	06.43^a ± 0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		2h	05.22 ^a ± 0.03	05.36 ^d ± 0.02	05.46 ^c ± 0.01	05.61 ^b ± 0.02	05.41^b± 0.02			
		4h	04.58 ⁱ ± 0.01	4.77 ^h ± 0.02	04.98 ^g ± 0.01	05.27 ^c ± 0.01	04.90^c± 0.01			
		Moyennes ± ES (F2)	5.41^d ± 0.01	5.52^c ± 0.01	5.62^b ± 0.02	05.77^a ± 0.01				
	Post acidification	7J	04.52 ^d ± 0.01	04.56 ^c ± 0.01	04.69 ^b ± 0.02	04.78 ^a ± 0.02	04.64^a± 0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		14J	04.38 ^e ± 0.02	04.55 ^{cd} ± 0.02	04.67 ^b ± 0.02	04.76 ^a ± 0.01	04.59^b± 0.01			
21J		04.21 ^f ± 0.01	04.53 ^{cd} ± 0.02	04.66 ^b ± 0.03	04.76 ^a ± 0.02	04.54^c± 0.02				
	Moyennes ± ES (F2)	04.37^d± 0.01	04.55^c ± 0.01	04.67^b ± 0.02	04.77^a± 0.01					
Acidité (°D)	Fermentation	0h	18.33 ⁱ ± 0.01	18.34 ⁱ ± 0.03	18.33 ⁱ ± 0.03	18.33 ⁱ ± 0.03	18.33^c± 0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		2h	39.33 ^c ± 0.02	36.00 ^f ± 0.03	32.33 ^g ± 0.03	31.33 ^h ± 0.01	34.75^b± 0.02			
		4h	80.33 ^a ± 0.01	78.33 ^b ± 0.02	76.33 ^c ± 0.01	70.67 ^d ± 0.03	76.42^a± 0.01			
		Moyennes ± ES (F1)	46.00^a± 0.01	44.22^b± 0.02	42.33^c± 0.02	40.11^d± 0.02				
	Post Acidification	7J	85.33 ^d ± 0.03	79.55 ^f ± 0.02	77.67 ^h ± 0.06	71.66 ^k ± 0.04	78.55^c ± 0.03	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		14J	90.45 ^b ± 0.02	85.33 ^d ± 0.04	78.33 ^g ± 0.04	72.33 ^j ± 0.03	81.61^b ± 0.03			
21J		98.50 ^a ± 0.03	89.46 ^e ± 0.01	80.67 ^e ± 0.03	74.45 ⁱ ± 0.02	85.77^a ± 0.02				
	Moyennes ± ES (F2)	91.43^a± 0.02	84.78^b± 0.02	78.98^c± 0.04	72.81^d ± 0.03					
Viscosité (m ² /s)	Fermentation	0h	00.89 ⁱ ± 0.01	00.89 ⁱ ± 0.05	00.87 ⁱ ± 0.01	00.85 ⁱ ± 0.03	00.88^c± 0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		2h	20.07 ^d ± 0.03	15.88 ^f ± 0.04	13.60 ^g ± 0.07	08.46 ^h ± 0.05	14.50^b ± 0.04			
		4h	52.33 ^a ± 0.01	45.75 ^b ± 0.02	35.34 ^c ± 0.04	19.46 ^e ± 0.02	38.22^a± 0.02			
		Moyennes ± ES (F2)	24.43^a± 0.02	20.84^b± 0.03	16.60^c± 0.04	9.59^d± 0.03				
	Post acidification	7J	72.06 ^c ± 0.02	59.52 ^f ± 0.04	41.68 ^h ± 0.03	24.17 ^k ± 0.01	49.36^c± 0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		14J	85.30 ^a ± 0.01	73.41 ^c ± 0.03	47.37 ^g ± 0.02	26.24 ⁱ ± 0.03	58.08^a± 0.02			
21J		80.65 ^b ± 0.02	72.32 ^d ± 0.03	40.31 ⁱ ± 0.03	23.04 ^l ± 0.02	54.08^b± 0.02				
	Moyennes ± ES (F2)	79.34^a± 0.01	68.42^b± 0.03	68.42^b± 0.03	24.48^d± 0.02					

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03; *EHEMP* : extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. ; h:heures; J:jours ; F1 :facteur périodes ; F2 : facteur concentrations d'extrait incorporées ; Int. F1×F2 : interaction des deux facteurs (périodes et concentrations d'extrait) ; p< 0.01 ; effet hautement significatif du facteur étudié ; a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman- Keuls.

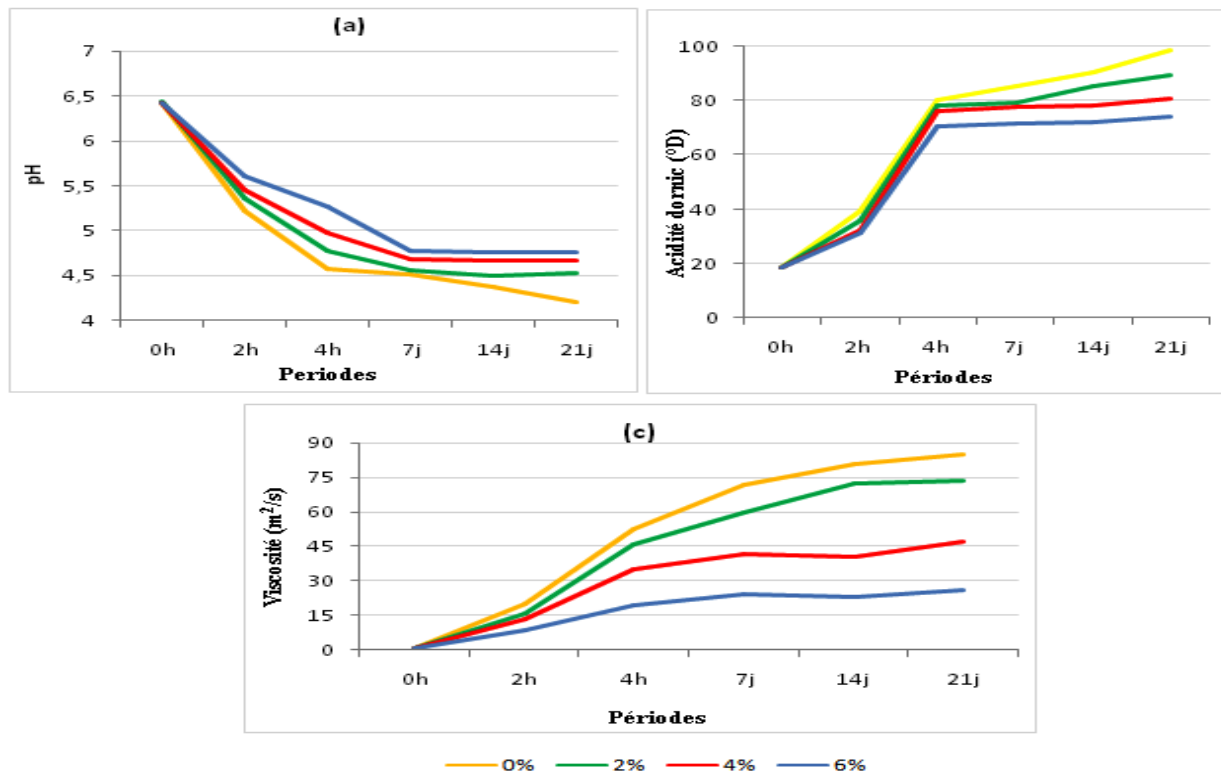


Figure 18. Evolution des paramètres physicochimiques des yaourts enrichis en extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.

1.6.3. Qualité organoleptique

La perception du goût acide par les panélistes semble être détériorée d'une manière hautement significative ($p < 0.01$) à des taux d'incorporation de 4 et 6% d'extrait de menthe dans le yaourt.

Cependant, la supplémentation de l'extrait à la dose de 2% a permis de produire aux 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jours de conservation un produit nouveau de meilleure qualité ($p < 0.01$) que le témoin au plan de l'acidité que les dégustateurs ont très bien apprécié; 14 vs 15, 15 vs 18 et 16.5 vs 20.5 somme des rangs, respectivement. Quant au goût de fraîcheur, durant toute l'expérimentation et comparativement au témoin, les yaourts préparés à 2 et 4% d'extrait ont présenté les meilleurs scores ($p < 0.01$); 22.5 vs 15 vs 18 somme des rangs au 1^{er} jour, 27 vs 17 vs 18 somme des rangs au 7^{ème} jour, 27 vs 16 vs 18 somme des rangs au 14^{ème} jour et 29 vs 13 vs 16.5 somme des rangs au 21^{ème} jour. Le yaourt préparé à 6% a été classé en dernière position avec de médiocres résultats ($p < 0.01$) par rapport au témoin; 34 vs 22.5 somme des rangs au 1^{er} jour, 33.5 vs 27 somme des rangs au 7^{ème} jour, 33 vs 27 somme des rangs au 15^{ème} jour et 32.5 vs 29 somme des rangs au 21^{ème} jour.

Les critères organoleptiques arrière goût, adhésivité et cohésivité semblent être nettement affectés par les quantités d'extrait ajoutées de sorte que plus le taux d'incorporation est élevé moins le produit est apprécié par les panélistes pour ces trois critères sensorielles ($p < 0.01$); avec des scores s'inscrivant dans l'intervalle variable de 16 à 37.5 sommes des rangs. En ce qui concerne l'odeur, quasiment tous les produits enrichis en extrait de menthe ont été bien appréciés par les

panélistes. Cependant, tout au long de la période de post-acidification, du 1^{er}, au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de conservation, l'essai préparé à 2% d'extrait de menthe ayant atteint des scores de 19, 18, 18 et 17 somme des rangs, respectivement, a été le mieux classé ($p < 0.1$), suivi du yaourt préparé à 4% d'extrait en deuxième position (20 vs 19 vs 20 vs 20 somme des rangs), puis par le témoin en troisième position (31.5 vs 30 vs 27.5 vs 31.5, somme des rangs) et enfin en dernière position vient le lait fermenté additionné de 6% d'extrait (31.5 vs 30 vs 27.5 vs 31.5 somme des rangs). En outre, pendant toute la période de stockage au froid positif, le yaourt additionné de 2% d'extrait a été le mieux évalué ($p < 0.01$) par le panel de dégustation au terme de couleur (15 à 16 somme des rangs), que le témoin (16 à 18 sommes des rangs), et les autres préparations contenant 4 et 6% d'extrait (20 à 31.5, sommes des rangs) (**Tableau 20**).

D'après la (**Figure 19**), comparativement au témoin, le yaourt préparé à 2% d'extrait de menthe a enregistré les meilleures qualités sensorielles contrairement à ceux préparés à 4 et 6% qui ont été classés en avant dernière et dernière position avec de médiocres résultats.

Tableau 20. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sur la qualité sensorielle d'un yaourt étuvé.

Paramètres étudiés	Périodes	Doses d'extrait hydroéthanoliques de <i>Mentha piperita</i> L. incorporées				Effet de l'extrait
		0%	2%	4%	6%	
Gout acide	J1	13 ^d	15.5 ^c	25 ^b	29.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	15 ^d	14 ^c	27 ^b	36 ^a	$p < 0.01$
	J14	18 ^c	15 ^d	28 ^b	34 ^a	$p < 0.01$
	J21	20.5 ^c	16.5 ^d	28 ^b	35 ^a	$p < 0.01$
Gout de fraîcheur	J1	22.5 ^b	15 ^d	18 ^c	34 ^a	$p < 0.01$
	J7	27 ^b	17 ^c	18 ^{bc}	33.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	27 ^b	16 ^d	18 ^c	33 ^a	$p < 0.01$
	J21	29 ^b	13 ^d	16.5 ^c	32.5 ^a	$p < 0.01$
Arrière-gout	J1	16 ^d	21.5 ^c	29 ^b	33.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	17.5 ^c	18.5 ^{bc}	29.5 ^b	34.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	17.5 ^d	23 ^c	30 ^b	35.5 ^a	$p < 0.01$
	J21	20.5 ^d	24.5 ^c	28 ^{ab}	30.5 ^a	$p < 0.01$
Adhésivité	J1	16.5 ^c	22 ^b	27.5 ^{ab}	32 ^a	$p < 0.01$
	J7	12.5 ^d	20 ^c	28 ^b	37.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	13.5 ^c	22 ^b	30 ^{ab}	34 ^a	$p < 0.01$
	J21	13 ^c	21 ^b	31 ^{ab}	35.5 ^a	$p < 0.01$
Cohésivité	J1	16.5 ^c	23 ^b	28 ^{ab}	30.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	16 ^c	21.5 ^b	29 ^{ab}	33.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	13.5 ^c	22.5 ^b	29.5 ^{ab}	34 ^a	$p < 0.01$
	J21	10.5 ^c	22.5 ^c	30.5 ^b	35 ^a	$p < 0.01$
Odeur	J1	29.5 ^{ab}	19 ^b	20 ^b	31.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	28 ^{ab}	18 ^b	19 ^b	30 ^a	$p < 0.01$
	J14	25 ^a	18 ^b	20 ^{ab}	27.5 ^a	$p < 0.01$
	J21	24 ^b	17 ^c	20 ^{bc}	31.5 ^a	$p < 0.01$
Couleur	J1	16.5 ^c	15 ^c	18 ^b	28 ^a	$p < 0.01$
	J7	16 ^c	15 ^c	20 ^b	30.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	18 ^c	15 ^c	22 ^b	31.5 ^a	$p < 0.01$
	J21	17.5 ^c	16 ^c	23 ^b	28.5 ^a	$p < 0.01$

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs, avec un nombre des panélistes $n=10$; J:jours ; $P > 0.05$ effet non significatif du facteur étudié (taux d'extrait incorporés dans le yaourt); $p < 0.01$: effet hautement significatif du facteur étudié ; a,b,c,d,e...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Fridmen

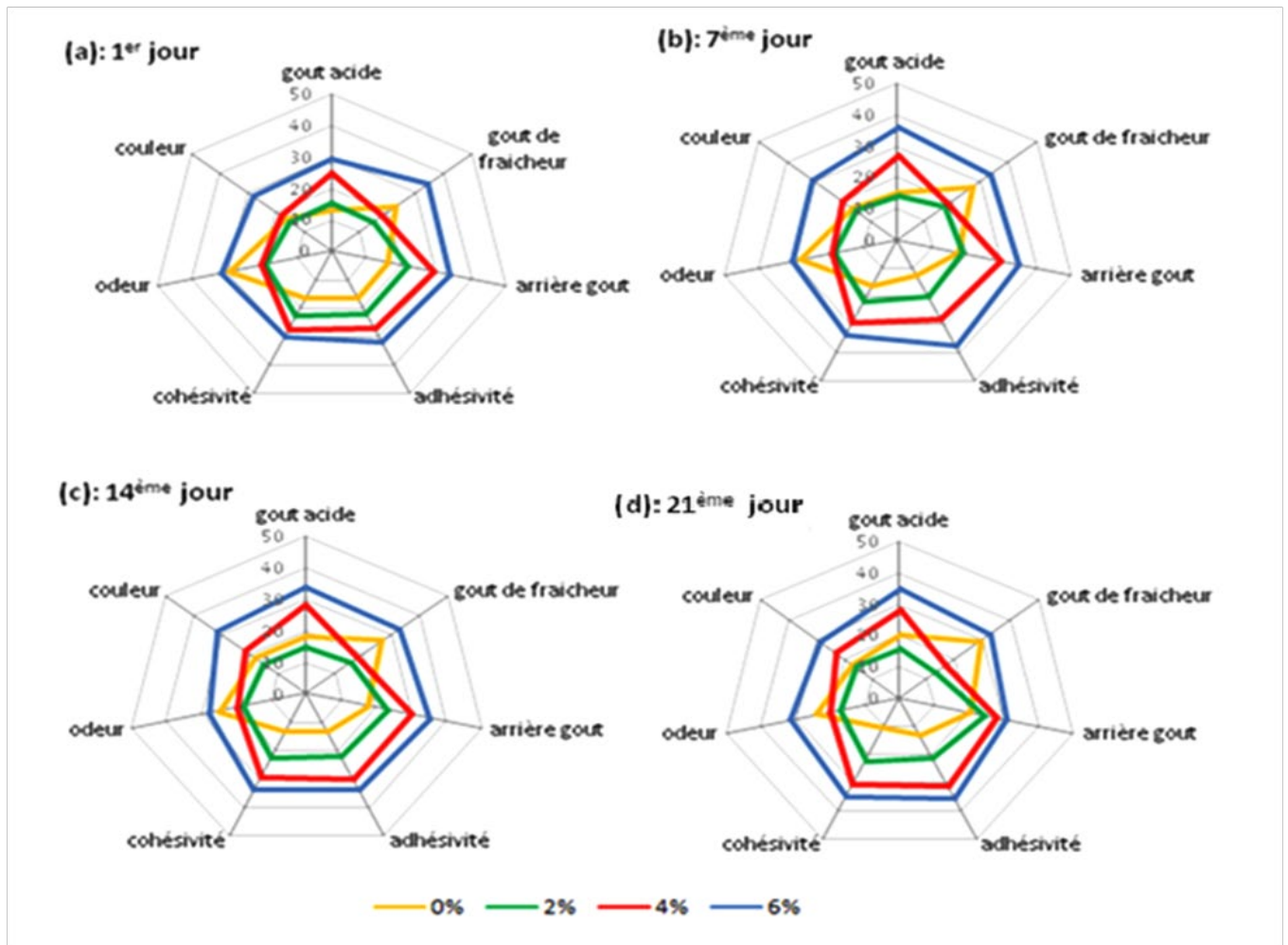


Figure 19. Effet d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. sur la qualité organoleptique d'un yaourt étuvé au cours de 21 jours de stockage au froid positif.

1.6.4. Caractéristiques oxydatives des yaourts

Les résultats analytiques relatifs aux caractéristiques antioxydants déterminés par les tests de DPPH, d'ABTS et du taux de peroxydation des lipides des yaourts expérimentaux sont mentionnés dans le (Tableau 21 ; Figure 20).

En fonction du temps de conservation, les yaourts expérimentaux ont montré une perte progressive de leurs capacités à piéger le radical DPPH ; avec des pourcentages d'inhibition moyens de 52.29% au 1^{er} jour vs 47.36% au 10^{ème} jour vs 40.71% au 20^{ème} jour.

Par ailleurs, durant ces périodes, l'activité antioxydant au DPPH mesurée a montré des accroissements hautement significatives ($p < 0.01$) des pourcentages d'inhibition avec les augmentations de 0, à 2, à 4 et à 6% d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. dans les produits ; soit des variations respectives de 19.36, à 58.02, à 63.25 et à 68.55% au 1^{er} jour, de 15.65, à 51.86, à 59.58 et à 62.36% au 10^{ème} jour et de 9.58, à 48.96, à 49.09% et à 55.33% au 20^{ème} jour de réfrigération.

Les résultats du piégeage du radical ABTS⁺ ont révélé pendant l'expérimentation des augmentations significatives ($p < 0,01$) des pourcentages d'inhibition en fonction de l'élévation de 0, à 2, à 4 et à 6% du taux d'incorporation de l'extrait hydroéthanolique de la plante étudiée dans les yaourts expérimentaux ; soit des variations respectives de 17.38, à 38.52, à 51.19 et à 59.87% au 1^{er} jour, de 15.6, à 31.34, à 43.44 et à 45.68% au 10^{ème} jour et de 12.98, à 30.30, à 35.20 et à 36.05% au 20^{ème} jour d'entreposage. Apparemment, en fonction de la période de conservation, du 1^{er} au dernier jour, ces valeurs ont tendance à décroître de 41.74 à 28.64%.

Périodiquement, du 1^{er}, au 10^{ème} et au 20^{ème} jour, de la période de post acidification, les niveaux de peroxydation lipidique dans les yaourts sans et avec extrait de menthe ont tendance à augmenter significativement ($p < 0.01$) de 0.59, à 0.74 et à 1.37 mg MDA/kg.

En outre, durant toute cette période expérimentale, le degré de peroxydation des lipides, est marqué par des valeurs décroissantes ($p < 0.01$) dans les yaourts de 0.78, à 0.62, à 0.58 et à 0.32 mg MDA/kg pour des taux d'incorporation d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. croissants respectivement de 0, à 2, à 4 et à 6%.

Tableau 21. Evolution du potentiel antioxydant (% d'inhibition des radicaux DPPH et d'ABTS) et du taux de peroxydation des lipides TBARS (mg MDA/kg) des yaourts étuvés enrichis en extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. au cours du stockage à 6°C.

Périodes		Taux d'incorporation (%) d'extrait de <i>Mentha Piperita</i> L. (Moyennes± ES de l'Int. F1XF2)				Moyennes ± ES (F1)
		0%	2%	4%	6%	
DPPH	J1	19.36 ^h ±0.66	58.02 ^d ±0.99	63.25 ^b ±0.38	68.55 ^a ±0.38	52.30 ^a ±0.56
	J10	15.65 ⁱ ±0.32	51.86 ^f ±0.65	59.68 ^c ±0.93	62.36 ^b ±0.23	47.39 ^b ±0.51
	J20	09.58 ^j ±0.39	48.96 ^g ±0.40	49.09 ^g ±0.24	55.33 ^c ±0.50	40.74 ^c ±0.34
Moyennes ± ES (F2)		14.86 ^d ±0.42	52.95 ^c ±0.63	57.34 ^b ±0.52	62.08 ^a ±0.34	-
ABTS	J1	17.38 ^h ±0.33	38.52 ^c ±0.87	51.19 ^b ±0.05	59.87 ^a ±0.92	41.74 ^a ±0.56
	J10	15.67 ⁱ ±0.37	31.54 ^g ±1.59	43.44 ^d ±0.61	45.68 ^c ±0.49	34.08 ^b ±0.77
	J20	12.98 ⁱ ±0.42	30.30 ^g ±0.59	35.20 ^f ±1.28	36.05 ^f ±0.56	28.64 ^c ±0.67
Moyennes ± ES (F2)		15.34 ^d ±0.32	33.45 ^c ±0.95	43.28 ^b ±0.71	47.20 ^a ±0.59	-
TBARS	J1	0.78 ^f ±0.05	0.67 ^g ±0.01	0.58 ^h ±0.02	0.32 ^j ±0.04	00.59 ^c ±0.03
	J10	1.11 ^e ±0.01	0.72 ^g ±0.02	0.65 ^g ±0.03	0.48 ⁱ ±0.02	00.74 ^b ±0.02
	J20	1.52 ^a ±0.07	1.42 ^b ±0.01	1.34 ^c ±0.02	1.20 ^d ±0.08	01.37 ^a ±0.04
Moyennes ± ES (F2)		01.14 ^a ±0.04	0.94 ^{bc} ±0.01	0.86 ^C ±0.02	0.66 ^d ±0.04	-

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03 ; ES : Erreurs standards ; J: jours; F1 : facteur périodes ; F2 : facteur concentrations d'extrait incorporées ; Int. F1×F2 : interaction des deux facteurs (Périodes et Concentrations d'extrait) ; a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

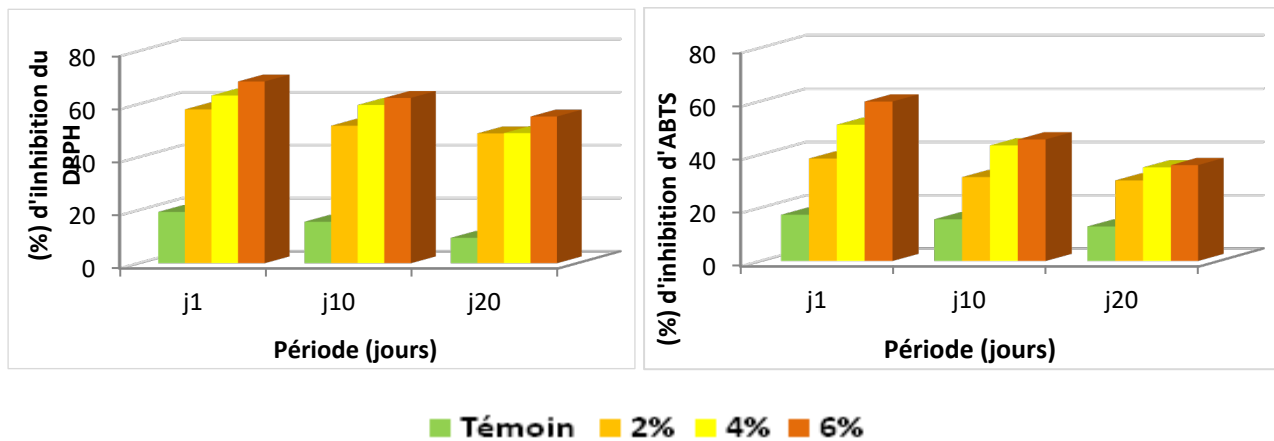


Figure 20. Evolution de l'activité de piégeage (% d'inhibition) des radicaux DPPH et ABTS des yaourts enrichis d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. au cours la réfrigération.

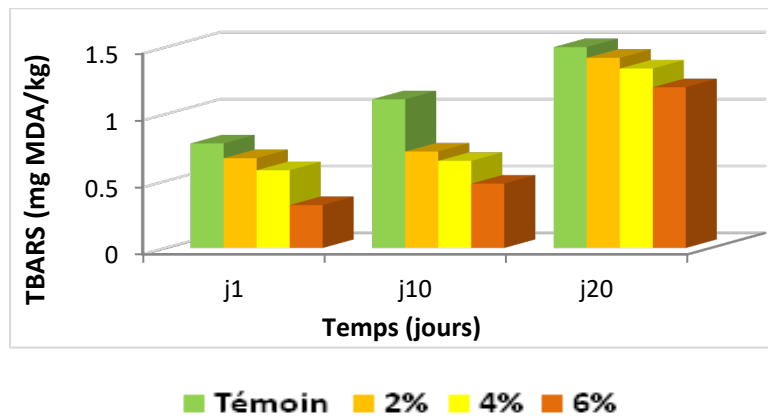


Figure 21. Evaluation par le test de TBARS du degré de peroxydation (mg MDA/kg) des lipides des yaourts enrichis en extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., au cours de 20 jours de réfrigération.

1.6.5. Profil lipidiques des yaourts expérimentaux

Les yaourts expérimentaux ont accusé durant la conservation un contenu comparable en matière grasse totale ($p > 0.05$) ; 1.82 à 1.84%. Les acides gras retrouvés majoritairement dans les produits sont l'acide palmitique (C16:0), l'acide oléique (C18:1n9), l'acide myristique C14:0 et l'acide stéarique (C18:0). Ces acides gras n'ont pas connu de grandes variations ($p > 0.5$) en fonction du temps d'entreposage et la teneur en extrait de la plante ajoutée ; 35.07 à 35.93%, 23.54 à 24.32%, 11.77 à 12.02% et 8.99 à 9.48%, respectivement. Les yaourts ont présenté aussi des teneurs non négligeables et identiques ($p > 0.05$) en acide pentadécanoïque (C15:0) et en acide palmitoléique (C16:1) ; 01.30 à 1.34% vs 2.17 à 2.26% des lipides totaux. Concernant les acides gras indispensables, il semble que l'ajout d'extrait de *Mentha piperita* L. n'a pas préservé le taux en acide linoléique (C18:2n6c) des yaourts qui a diminué remarquablement ($p < 0.05$) par rapport au témoin de 2.77 à 2.56% au 1^{er} jour et de 2.82 à 02.67% des lipides totaux au 20^{ème} jour de stockage. Au contraire, durant ces deux périodes comparativement au yaourt standard l'addition d'extrait de la plante à induit une nette amélioration ($p < 0.01$) de 55.8 et de 42.2% du taux en

acide α linolenic (C18:3n3). Au 1^{er} jour, par rapport au contrôle, le yaourt à l'extrait de menthe a présenté également un meilleur profil ($p < 0.01$) en acide cis-11,14-eicosadiénoïque (C20:2) et en acide cis-11,14,17-eicosatriénoïque (C20:3n3); 0.05 vs 0.06% et 0.09 vs 0.10% des lipides totaux ; respectivement. En revanche, au 20^{ème} jour de stockage, ces valeurs semblent chuter sensiblement ($p < .01$) de 0 à 0% et de 0.12 à 0.05% des lipides totaux. Par ailleurs, la supplémentation en extrait de menthe a rehaussé d'une manière hautement significative de 06.60% au 1^{er} jour et de 21.4% au 20^{ème} jour le niveau en acide cis-8,11,14-eicosatriénoïque (C20:3n6). A propos des acides gras à courtes chaînes les yaourts expérimentaux ont enregistré des proportions similaires ($p > 0.05$) en C6:0 (1.25 à 1.33% des lipides totaux), C8:0 (0.96 à 1.00% des lipides totaux), en C10:0 (2.48 à 02.5% des lipides totaux) et en C12:0 (3.26 à 3.35% des lipides totaux). Quant à l'acide butyrique les teneurs signalées dans les produits ont varié ($p < 0.01$) de 1.42 à 1.47% des lipides totaux. Comparativement au témoin la concentration en cet acide gras recensé dans le yaourt à l'extrait de menthe a diminué ($p < 0.01$) de 4.03% au 1^{er} jour de conservation et a augmenté sensiblement ($p < 0.01$) de 9.16% au 20^{ème} jour. Au 1^{er} jour, le niveau en acide undécanoïque (C11:0) est resté stable ($p > 0.05$) dans les yaourts sans et avec l'extrait de *Mentha piperita* L., (0.05% des lipides totaux, en moyenne) ; alors qu'au 20^{ème} jour le yaourt à l'extrait de menthe s'est avéré contenir de fortes proportions ($p < 0.01$) comparativement au témoin (0.05 vs 0.04% des lipides totaux).

Globalement, pendant toute la période expérimentale l'ajout d'extrait de *Mentha piperita* L., n'a pas affecter les teneurs en acides gras saturés et en acides gras polyinsaturés des yaourts qui ont variés ($p > 0.05$) respectivement de 68.34 à 69.21% et de 30.86 à 31.66% des lipides totaux. Aussi, les rapports en acides gras saturés sur les acides gras insaturés (AGS/AGI) sont restés stables ($p > 0.05$) ; 2.15 à 2.24. Les acides gras monoinsaturés (AGMI) qui ont représenté la fraction la plus importante parmi les acides gras insaturés n'ont pas enregistré de grandes différences ($p > 0.05$) quelque soit la durée de conservation et la quantité d'extrait de menthe ajoutée aux produits; 27.33 à 28.15% des lipides totaux. Par ailleurs, les acides gras polyinsaturés ont varié légèrement ($p > 0.05$) de 3.39 à 3.52% des lipides totaux. Les lipides des yaourts sont plutôt riches en acides gras à longues chaînes (90.09 à 95.99% des lipides totaux) ; alors que les acides gras à chaînes courtes et moyennes (AGCCM) sont faiblement représentés (9.42 à 9.91% des lipides totaux). Aucune variation ($p > 0.05$) de ces teneurs en acides gras entre les produits expérimentaux n'a été constatée durant l'expérimentation.

Le contenu en acides gras appartenant au groupe des ω -3 semble croître au cours de la conservation d'une façon hautement significative ($p < 0,01$) dans les yaourts préparés à l'extrait de menthe poivrée par rapport au yaourt nature témoin; 0.63 vs 0.43% au 1^{er} jour et 0.69 vs 0.57% des lipides totaux au 20^{ème} jour. Au contraire les taux en acides gras appartenant à la série ω -6 n'ont pas marqué de grands changements ($p > 0.05$) dans les produits testés au cours de ces deux périodes ; 2.71 vs 2.95% des lipides totaux. Enfin, le rapport de ces deux groupes d'acides gras (ω -6/ ω -3) a montré de faibles valeurs ($p < 0,01$) dans les yaourts à l'extrait de menthe objet de l'étude par comparaison au témoin ; 4.32 vs 6.76 au 1^{er} jour et 4.11 vs 5.21 au 20^{ème} jour de réfrigération (**Tableau 22**).

Tableau 22. Profil en acides gras des yaourts expérimentaux (en % des lipides totaux).

Périodes	1 ^{er} Jour		20 ^{ème} Jour		Effet d'EHEMP
	0% EHEMP (Témoin)	4% EHEMP	0% EHEMP (Témoin)	4% EHEMP	
Total des lipides (g/100g)	01.843 ± 0.09	01.844 ± 0.06	01.822 ± 0.03	01.831± 0.05	p>0.05
C4:0	01.485 ^b ± 0.07	01.425 ^b ± 0.04	01.644 ^a ± 0.03	01.486 ^b ± 0.04	P<0.01
C6:0	01.286 ± 0.06	01.253± 0.04	01.329± 0.02	01.269± 0.03	p>0.05
C8:0	00.980 ± 0.05	00.962± 0.03	01.003±0.012	00.965± 0.03	p>0.05
C10:0	02.556 ± 0.13	02.479± 0.08	02.576± 0.042	02.499± 0.07	p>0.05
C11:0	00.050 ^a ± 0.00	00.049 ^a ± 0.00	00.04 ^c ± 0.00	00.045 ^b ±0.00	p<0.01
C12:0	03.354 ± 0.17	03.256 ± 0.10	03.318 ± 0.06	03.328± 0.09	p>0.05
C13:0	00.091 ^c ± 0.01	00.124 ^a ± 0.00	00.100 ^b ± 0.00	00.092 ^b ±0.00	p<0.05
C14:0	12.042 ± 0.60	11.773 ± 0.36	11.882 ± 0.19	11.97 ± 0.32	p>0.05
C14:1	00.641 ± 0.03	00.616 ± 0.02	00.622 ± 0.01	00.619±0.012	p>0.05
C15:0	01.321 ± 0.07	01.302 ± 0.04	01.304 ± 0.02	01.347± 0.04	p>0.05
C16:0	35.249± 01.75	35.208 ± 1.07	35.075 ± 0.57	35.926± 0.90	p>0.05
C16:1	02.173 ± 0.11	02.253 ± 0.07	02.266±0.037	02.187± 0.06	p>0.05
C17:0	00.666 ^a ± 0.03	00.615 ^b ± 0.02	00.632 ^{ab} ± 0.01	00.502 ^c ± 0.01	p<0.01
C18:0	08.994 ± 0.45	09.199 ± 0.28	09.140 ± 0.15	09.478± 0.25	p>0.05
C18:1n9	24.173 ± 01.2	24.158 ± 0.73	24.317± 0.40	23.542 ± 0.62	p>0.05
C18:2n6	02.766 ^a ± 0.14	02.556 ^b ± 0.08	02.816 ^a ± 0.05	02.666 ^{ab} ± 0.07	p<0.05
C20:0	00.131 ^b ± 0.01	00.153 ^a ± 0.01	00.133 ^b ± 0.00	00.138 ^b ± 0.00	p<0.01
C18:3n3	00.338 ^d ± 0.02	00.529 ^b ± 0.02	00.448 ^c ± 0.01	00.637 ^a ± 0.02	p<0.01
C20:1n9	01.148 ^a ± 0.06	01.118 ^a ± 0.03	00.941 ^b ± 0.02	00.986 ^b ± 0.03	p<0.01
C20:2	00.051 ^b ± 0.00	00.057 ^a ± 0.00	00 ^c	00 ^c	p<0.01
C20:3n3	00.093 ^c ± 0.01	00.099 ^b ± 0.00	00.118 ^a ±0.00	00.052 ^d ± 0.00	p<0.01
C22	00.062 ^b ± 0.00	00.074 ^a ± 0.00	00.076 ^a ± 0.00	00.075 ^a ± 0.00	p<0.01
C20:3n6	00.149 ^b ± 0.01	00.157 ^{ab} ± 0.00	00.135 ^c ± 0.00	00.166 ^a ± 0.00	p<0.01
C24:0	00.198 ^b ±0.01	00.623 ^a ± 0.02	00.085 ^d ± 0.00	00.107 ^c ± 0.003	p<0.01
AGS	68.462± 3.39	68.460 ± 2.07	68.338 ± 1.11	69.211 ± 1.82	p>0.05
AGI	31.532± 1.56	31.545 ± 0.96	31.663 ± 0.51	30.855 ± 0.81	p>0.05
AGS/AGI	02.171± 0.11	02.171 ± 0.07	02.158 ± 0.04	02.243 ± 0.06	p>0.05
AGMI	28.140± 1.40	28.146 ± 0.85	28.146 ± 0.46	27.334 ± 0.72	p>0.05
AGPI	03.398 ± 0.17	03.399 ± 0.10	03.517 ± 0.06	03.521 ± 0.09	p>0.05
AGCCM	09.712 ± 0.48	09.426 ± 0.29	09.911 ± 0.16	09.546 ± 0.21	p>0.05
AGCL	90.300± 04.47	95.985 ± 2.91	90.090 ± 1.46	90.492 ± 2.38	P>0.05
ω-3	00.431 ^d ± 0.02	00.628 ^b ± 0.02	00.566 ^c ± 0.01	00.689 ^a ± 0.02	p<0.01
ω-6	02.915 ± 0.14	02.713 ± 0.08	02.951 ± 0.05	02.832 ± 0.08	p>0.05
ω-6/ ω-3	06.764 ^a ± 0.34	04.321 ^c ± 0.13	05.214 ^b ± 0.09	04.111 ^c ± 0.11	p<0.01

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types; Pour chaque groupe, le nombre de répétitions est de 03 (n = 03) ; EHEMP: Extrait Hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (Taux d'extrait de menthe incorporés dans le yaourt); p<0.05 : effet significatif du facteur étudié; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié. Les moyennes dans la même ligne avec différents souscriptions sont significativement différentes au seuil de probabilité de 5% ; MGT : matière grasse totale ; C4:0 (acide butyrique) ; C6:0 (acide caproïque) ; C8:0 (acide caprylique) ; C10:0 (acide caprique) ; C11:0 (acide undécanoïque) ; C12:0 (acide laurique) ; C13 : 0 (acide tridécanoïque) ; C14:0 (acide myristique) ; C14:1 (acide myristoléique) ; C15:0 (acide pentadécanoïque) ; C16:0 (acide palmitique) ; C16:1 (acide palmitoléique) ; C17:0 (acide heptadécanoïque) ; C18:1n9c (acide oléique) ; C18:2n6c (acide linoléique) ; C20:0 (acide arachidique) ; C18:3n3 (acide α-linolénique) ; C20 : 1n9 (acide cis-11-ecosénoïque) ; C20:2 (acide cis-11,14-ecosadiénoïque) ; C20:3n3 (acide cis-11,14,17-ecosatriénoïque) ; C22:0 (acide béhénique) ; C20 : 3n6 (Acide cis-8,11,14-Eicosatriénoïque) ; C24:0 (Acide lignocérique) ; AGS :Acides gras saturés; AGI :Acides gras insaturés ; AGS/AGI :Rapport acides gras saturés/insaturés ; AGMI : Acide gras mono insaturé ; AGPI :Acide gras poly insaturé ; AGCCM: Acides gras à chaîne courte et moyenne ; AGC L: Acides gras à chaîne longues ; ω-3:Oméga 3 ; ω-6:Oméga 6 ; ω-6/ ω-3 : rapport Oméga 6/ Oméga3.

2. Discussion

2. 1. Etude phytochimique de l'extrait

En raison de l'étendue de son champ d'application, de son efficacité et de sa facilité de mise en œuvre, l'extraction par solvant est largement utilisée comme moyen privilégié pour obtenir les extraits de matières végétales riches en composés bioactifs. L'éthanol, est l'un des solvants organiques le plus couramment utilisé pour l'extraction des principaux composés phénoliques contenus dans les plantes médicinales. Aussi, il s'avère que l'éthanol aqueux plus polaire que l'éthanol absolu permet d'avoir le plus souvent un meilleur rendement d'extraction de ces composés secondaires (**Hikmawanti et al., 2021 ; Lohvina et al., 2022**). En effet, dans la présente étude, la macération pendant 6 heures à l'éthanol aqueux à 80% (80:20 ; éthanol : eau ; v/v) de 10 g de la partie aérienne de *Mentha piperita* L. récolté au Sahara Algérien a donné un rendement d'extraction intéressant (16.16%) plus élevé que celui obtenu (13.53%) par macération dans de l'éthanol aqueux à 50% d'une menthe poivrée récoltée au Brésil (**Fischer et al., 2020**), et (11%) réalisé sur la plante cultivée en Iran par macération dans de l'éthanol absolu (**Ranjbar et al., 2020**). Cette différence de résultats serait probablement due à la différence de composition des échantillons de plantes (**Al-Zaben et al., 2023**) influencée par la localisation géographique et le climat (**Brahmi et al., 2022**). La présence de l'eau comme solution plus polaire dans le solvant d'extraction moins polaires et également un facteur qui influence l'efficacité de l'extraction selon les suggestions de plusieurs chercheurs qui ont rapporté que l'utilisation solvants hydroalcooliques comme solvant d'extraction offre les meilleurs rendements d'extraction des composés bioactifs par rapport à ceux obtenus avec le méthanol absolu (**Chatha et al., 2006 ; Sultana et al., 2007**).

A la lumière des résultats obtenus il apparaît clairement que l'extrait hydroéthanolique de la plante objet de l'étude est riche et bien pourvu en substances bioactives dont les composés phénoliques, qui sont les composés bioactifs les plus importants du règne végétal (**Elansary et al., 2020**). Les coumarines et les stéroïdes ont aussi été remarqués dans l'extrait examiné, en plus d'autres composés comme les alcaloïdes, les tanins notamment catéchiques, les anthocyanes, ainsi que les sucres réducteurs. Ces résultats sont proches de ceux mentionnés récemment par (**Iqbal et al., 2022**) qui ont aussi indiqué une présence des triterpènes et des saponines dans l'extrait éthanolique de *Mentha piperita* L., cultivée au Pakistan. Quant aux anthocyanes leur présence a été également démontrée dans les extraits alcooliques de menthe poivrée cultivée en Irak (**Farnad et al., 2014**) et au Mexique (**Robles-Martínez et al., 2020**).

Selon les résultats du dosage colorimétrique, la plante étudiée a accusé une teneur appréciable en composés phénoliques (6.26 g EAG/100g *PMP*) et en flavonoïdes (3.40 g EQ/100g *PMP*) ; alors qu'elle semble contenir de très faibles concentrations (0.09 g EC/100g *PMP*) en tanins condensés. Ces valeurs restent néanmoins considérablement plus élevées comparativement à celles obtenues dans l'extrait hydroéthanolique de la même plante (*Mentha piperita* L.) récoltée en Irak et dont le contenu en phénols totaux était de 1.99 g EAG/100g *PMP* et de 1.31 g EQ/100g *PMP* seulement pour les flavonoïdes totaux (**Farnad et al., 2014**). Ceci témoigne de la faculté des plantes médicinales et aromatiques lorsqu'elles sont cultivées dans certaines conditions sévères du milieu à être les meilleures génératrices de substances bioactives. Nos

résultats viennent confirmer les suggestions de **(Brahmi et al., 2022)** qui ont rapporté que la localisation géographique et le climat sont des facteurs externes qui influencent grandement la composition en principaux composés bioactifs des plantes, notamment celles appartenant particulièrement au genre *Mentha*. Le matériel végétal collecté dans les différentes parties du monde peut ainsi présenter un contenu en composés secondaires et des bio-activités différentes liées à des facteurs abiotiques multiples tels que la nature du sol, l'altitude, la température et les précipitations, auxquels viennent s'ajouter d'éventuels facteurs biotiques comme la diversité de la flore végétale et microbienne du sol **(Iwaniuk & Lozowicka, 2022)**. D'après **Yeshi et al. (2022)** les plantes lorsqu'elles sont confrontées à des facteurs de stress comme la salinité et les fortes températures mettent en place un mécanisme de défense par la synthèse de nouveaux métabolites secondaires dont les composés phénoliques et leurs dérivés ou, dans la plupart des cas, par l'augmentation de la concentration de composés phénoliques qui existaient déjà. Outre leur caractère antioxydant, ces composés phénoliques contribuent, généralement, à la transduction des signaux permettant de déclencher divers mécanismes de défense des végétaux en cas de stress abiotique et peuvent agir eux même comme des matériaux toxiques contre les pathogènes et les ravageurs **(Anjali et al., 2023)**.

Toute fois, **Ait Chabane et al. (2021)**, dans une étude menée chez *Mentha piperita* L., récoltée entre la fin du mois de juin et le début du mois de juillet dans la même région de l'étude (à Ouargla) ou notre plante a été cultivée ont mis en évidence des teneurs en phénols totaux (154 mg EAG/g EL) et en flavonoïdes (49.68 mg EQ/ g EL) nettement plus faibles que celles enregistrées dans la présente étude ; 359.61 mg EAG et 219.77 mg EQ par grammes d'*EHEMP* lyophilisé, respectivement. Cette différence peut être attribuée, sans doute, à la saison de récolte qui selon plusieurs auteurs **(Yao et al.,2016 ; Lemos al.,2017 ; Ghimire et al.,2021)** peut influencer fortement non seulement la concentration des substances phytochimiques constitutives mais aussi les aptitudes de la plante à résister aux conditions sévères du milieu. D'après **(Ghimire et al.,2021)**, il est bien établi qu'en réponse à l'exposition à des températures et des intensités lumineuses plus élevées, notamment à la fin de l'été qu'au début de la saison résultant des périodes de lumières quotidiennes plus longues, les plantes sont capables de produire et d'accumuler d'avantage de composés phénoliques qui leur permettent de résister aux irradiations et aux températures élevées **(Ghimire et al.,2021)**.

Par ailleurs, il est bien reconnu que le solvant d'extraction joue un rôle important dans la variation quantitative et qualitative de la composition en polyphénols totaux des extraits obtenus à partir des plantes. À ce propos, **Sultana et al. (2009)** ont démontré que les mélanges éthanol/eau (80 : 20 ; éthanol : eau ; v/v) arrivent à extraire le maximum de phénols totaux des feuilles de *Moringa oleifera* et d'*Aloe barbadensis* comparés aux teneurs obtenues par l'usage de l'éthanol absolu. L'efficacité des solvants aqueux est liée à la présence de l'eau favorisant la désorption des solutés de la matrice de l'échantillon **(Mustafa et al., 2011)**. L'eau a également pour effet d'affaiblir les liaisons hydrogène établies entre les composés phénoliques et les protéines au sein de la matrice végétale, offrant ainsi une meilleure solubilité aux composés phénoliques **(Wissam et al., 2012)**. Ces composés forment une classe importante de phytoconstituants possédant des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires, anticancéreuses et antioxydantes **(Mahendran & Rahman, 2020)**.

L'analyse par chromatographie liquide couplée à la spectrophotométrie de masse (LC-MS/MS) a indiqué la présence de nombreux composés phytochimiques dans l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. 93.35% des métabolites identifiés sont des acides phénoliques dont l'acide rosmarinique (339.88 mg/g d'extrait sec) a constitué le composé majoritaire (92.95% des acides phénoliques identifiés). Nos résultats concordent aux travaux de plusieurs auteurs qui ont suggéré que les acides phénoliques représentés principalement par l'acide rosmarinique et les dérivés de l'acide caféique constituent plus de 60% des composés phénoliques de la menthe poivrée (**Fecka & Turek, 2007 ; Misan et al., 2011 ; Mahendran & Rahman, 2020**). La prédominance de l'acide rosmarinique par rapport aux autres constituants phénoliques de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. analysé par LC-MS/MS a été également rapportée dans une étude récente menée par **Kürekci & Beyazit (2022)** ayant étudié la différence de composition des extraits de *Mentha piperita* L., obtenue par usage de différents solvants. Ces auteurs ont, toutefois, estimé l'acide rosmarinique à une teneur beaucoup plus inférieure à celle enregistrée dans la présente expérimentation (10.505 mg/g d'extrait sec). Il s'agit de l'un des métabolites secondaires le plus répondu chez les Lamiacées, notamment chez *Rosmarinus officinalis* (**Hitl et al., 2022**). C'est un ester de l'acide caféique auquel une multitude d'effets bénéfiques à la santé sont attribués, liés essentiellement à son fort pouvoir antioxydant, antiseptique et anticancéreux (**Marchev et al., 2021**). Ses activités neuroprotectrices et cardioprotectrices ont été bien confirmées par plusieurs auteurs (**Saberi et al., 2023**). Il agit également comme un agent anti-inflammatoire en inhibant la lipoxigénase (enzyme qui catalyse l'oxydation des acides gras), la cyclooxygénase (enzyme qui catalyse la fixation d'une molécule d'oxygène aux acides gras entraînant la formation des hydroperoxydes) et les médiateurs pro-inflammatoires (**Hitl et al., 2022**). Il est aussi un facteur hépato-protecteur agissant contre la fibrose et en tant que piègeur de différentes espèces de radicaux réactifs, et enfin il constitue un agent immunomodulateur par stimulation du système immunitaire cellulaire (**Nunes et al., 2017 , Bekut et al., 2018 , Nadeem et al., 2019, Hitl et al., 2021**). L'usage thérapeutique des extraits de plante contenant ce composé bioactif est fortement recommandé par plusieurs chercheurs (**Alam et al., 2016 ; Hitl et al., 2021**). Il est, sans aucun doute, dans une large mesure responsable des bienfaits à la santé humaine qu'offre *Mentha piperita* L.

Nos résultats ont également montré la présence d'autres acides phénoliques dans l'extrait hydroéthanolique de la plante étudiée tels que les acides quinique, caféique, chlorogénique, protocatéchique et p-coumarique à des taux de 21.026, 1.629, 1.498, 0.918 et 0.406 mg/g d'extrait sec, respectivement. Un acide non phénolique a également été identifié dans notre étude, à savoir l'acide fumarique (1.819 mg/g d'extrait sec). Ces valeurs sont supérieures à celles signalées par **Kürekci & Beyazit (2022)** qui ont démontré la présence des acides quinique, caféique, chlorogénique, protocatéchique et p-coumarique à des taux de 2.243, 0.625, 0.125, 0.363 et 0.194 mg/g d'extrait sec, successivement, dans l'extrait méthanolique de menthe poivrée. Le rôle que joue l'acide chlorogénique comme protecteur des neurones primaires de la neurotoxicité du glutamate via la régulation des concentrations intracellulaires de Ca (2+) a été nettement démontré (**Mikami & Yamazawa, 2015**), ainsi que son potentiel neuroprotecteur et anti-inflammatoire dans les cellules microgliales infectées par le virus de l'herpès simplex (**Guo et al., 2015, Caruso et al., 2022**).

En outre, l'intérêt de l'acide caféique a été prouvé et largement expliqué. Entre autres, ce composé exerce des effets neuro-protecteurs en modulant la neuro-inflammation et le stress oxydatif (**Basu Mallik et al., 2016, Caruso et al., 2022**). Par ailleurs, les flavonoïdes sont reconnus pour leur fort pouvoir à piéger les différents types d'espèces réactives à l'oxygène (**Palma-Tenango et al., 2017 ; Benouchenne et al., 2021**). Il a été démontré que la consommation des aliments riches en flavonoïdes est associée à la prévention de diverses pathologies liées principalement au stress oxydatif telles que le cancer, les maladies neurodégénératives et les maladies métaboliques (**Ferraz et al., 2020, Al-Khayri et al., 2022**). La présente étude a mis en évidence leur présence dans l'extrait analysé principalement sous forme de flavones à une proportion de 76.83% des flavonoïdes détectés et représentés fortement par le cyranoside et la cosmosiine à des taux de 11.055 et 5.424 mg/g d'extrait sec, respectivement. Comparativement à nos résultats, **Kürekci & Beyazit (2022)** ont détecté ces deux derniers composés à des taux de 8.545 et 8.489 mg/g d'extrait méthanolique de *Mentha piperita* L. récoltée en Turquie.

En ce qui concerne les flavanones qui ont constitué 18.17% des flavonoïdes totaux, notre extrait s'est avéré riche en hespéridine (3.925 mg/g d'extrait sec), hespérétine (0.248 mg/g) et en naringénine (0.212 mg/g). Ce dernier composé actif a été estimé par **Misan et al. (2011)** à 1.46 mg/g dans un extrait obtenu après 24 heures de macération dans une solution hydroéthanolique des parties aériennes de la même espèce végétale cultivée à Belgrade. Ces auteurs ont également démontré la présence de la rutine à 2.18 mg/g d'extrait sec ; alors que dans notre extrait le taux de rutine a été évalué à seulement 0.638 mg/g d'extrait.

Il est à signaler que la littérature a recensé une grande diversité qualitative et quantitative de résultats relatifs à la composition phytochimique de *Mentha piperita* L., et ce en raison de plusieurs facteurs liés à l'environnement et/ou à la plante elle-même (état physiologique, variation génétique et stade d'évolution au moment de la récolte) (**Renoz et al., 2022**). Les méthodes d'extraction, de séchage et d'analyse ainsi que la saison de récolte ont également été incriminées (**Rohloff et al., 2005 ; Mahendran & Rahman, 2020**).

Il est également important de noter que les caractéristiques polaires des solvants d'extraction présentant des sélectivités différentes pour la même substance phytochimique influencent grandement la composition en principes composés bioactifs des extraits de la plante ; d'où la nécessité de procéder à l'extraction des composés bioactifs des plantes par usage de solvants à différentes polarités (**Kürekci & Beyazit, 2022**).

2.2. Potentiel antioxydant de l'extrait

L'activité antioxydante des extraits des plantes médicinales riches en composés bioactifs est l'une des propriétés biologiques les plus étudiées de nos jours. Pour son évaluation, l'application de nombreux tests serait plus informative, et même nécessaire (**Öztürk et al., 2011, Souilah et al., 2021**). Parmi les méthodes chimiques les plus utilisées, les tests au DPPH et à l'ABTS ont été appliqués dans le présent travail. Il est bien admis que les propriétés redox des composés phénoliques agissant comme agents donneurs d'hydrogène et piègeurs d'oxygène singulier sont en grande partie à l'origine du potentiel antioxydant des composés phénoliques (**Galano et al., 2016**) extraits des plantes. Une corrélation positive entre le contenu phénolique et l'activité antioxydante a été, d'ailleurs, confirmée par de nombreux auteurs (**Bousetla et al., 2015, Souilah et al., 2021**).

Dans la présente étude l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. riche particulièrement en composés phénoliques a montré une forte capacité d'inhibition (piégeage) du radical DPPH ; avec une IC₅₀ de 3.16 mg de lyophilisat d'extrait de menthe par millilitre inférieure à celle de l'acide ascorbique (IC₅₀ = 0.16 mg/ml) et de la quercétine (IC₅₀= 0.03 mg/ml). Cette valeur est, néanmoins, remarquablement plus intéressante que celle obtenue dans une autre étude menée par **Farnad et al. (2014)** sur le pouvoir inhibiteur du radical DPPH de l'extrait à l'éthanol absolu de *Mentha piperita* L. cultivée en Iran et qui ont avancé une IC₅₀ de 11.32 mg/ml. Il apparaît nettement que l'utilisation d'une solution hydroéthanolique à (20 :80 v/v) contrairement à l'éthanol absolu seul sans dilution lors de l'extraction permet l'obtention d'un extrait de menthe plus riche en composés phénoliques et dont le pouvoir antioxydant est plus important. A ce propos, il est bien établi que les flavonoïdes sont des antioxydants hydrosolubles dont l'extraction serait meilleure aux solvants aqueux (**Van Tang et al., 2016 , Xu et al., 2017**).

Dans une étude antérieure, **Generalic Mekinić et al. (2014)** ont avancé l'existence d'une relation positive entre les propriétés antioxydantes de l'extrait de la plante et la teneur en acide rosmarinique jugé responsable en grande partie du potentiel antioxydant. Cette hypothèse semble être confirmée par nos résultats d'analyse par LC-MS/MS de l'extrait de *Mentha piperita* L., étudié qui ont révélé un taux extraordinairement élevé d'acide rosmarinique (339,88 mg/g d'extrait sec).

Il convient de noter qu'en plus des acides phénoliques, les flavones présent à une portion de 76,83% des flavonoïdes totaux détectés par LC-MS/M dont les cyanosides et les cosmosiines connus pour leur forts pouvoirs antioxydants et ayant des effets positifs avérés sur la santé humaine (antidiabétiques, anti-cancer, an-inflammatoire) (**Hanalp et al., 2022, Ceylan et al., 2021**) ont sans aucun doute contribué en partie à cette activité antioxydante accrue de l'extrait testé.

Par ailleurs, pour le même extrait, le test à l'ABTS a révélé une IC₅₀ (2.50 mg d'extrait de menthe lyophilisée/ml) inférieure à celle obtenu par le test de DPPH (3.16 mg d'extrait de menthe lyophilisée/ml). Ceci pourrait être attribué à la présence dans l'extrait de substances ayant des bandes d'absorption à la même longueur d'onde que le radical ABTS' entraînant ainsi une augmentation de l'absorbance (**Sarr et al., 2015, Dieng et al., 2017**).

En outre, bien qu'il soit admis que l'effet antioxydant des substances phytochimiques est proportionnellement lié à leur quantité dans l'extrait, les effets synergiques de certains mélanges de composés ne peuvent pas être négligés. En effet, il a été bien démontré que les combinaisons binaires d'acide rosmarinique, d'acide gallique, d'acide caféique, d'acide chlorogénique, de rutine et de quercétine permettent une meilleure activité antioxydante. Par contre, aucun effet antagoniste de certains de ces composés n'a été constaté (**Hajimehdipoor et al., 2014**). Ceci est en accord avec nos résultats, qui ont montré que l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., objet de l'étude, renferme un cocktail considérablement important de composés phénoliques, ainsi qu'un acide non phénolique (acide fumarique) qui a récemment été mis en évidence par **Zhang et al. (2022)**, dans une étude de l'effet de l'extrait de Ginkgo biloba sur le stress oxydatif, comme ayant une activité synergique avec les flavones renforçant in vitro le potentiel antioxydant.

2.3. Impact antimicrobien de l'extrait de Menthe sur les bactéries starters du yaourt

Les tests antimicrobiens réalisés dans la présente étude ont révélé que la croissance des ferments lactiques spécifiques du yaourt varie de manière inversement proportionnelle aux concentrations d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. En effet, la prolifération de *Streptococcus thermophilus* et de *Lactobacillus bulgaricus* semble diminuer significativement ($p < 0.01$) (de $356 \cdot 10^5$, à $300 \cdot 10^5$, à $225 \cdot 10^5$, à $102 \cdot 10^5$, à $58 \cdot 10^5$ et à $00 \cdot 10^5$ UFC/ml) et de (de $300 \cdot 10^5$, à $220 \cdot 10^5$, à $182 \cdot 10^5$, $45 \cdot 10^5$, à $00 \cdot 10^5$, à $00 \cdot 10^5$ UFC/ml) respectivement au fur et à mesure que la concentration de l'extrait végétal augmente de 0, à 20, à 40, à 60, à 80 et à 100 %. Ces constatations ont été confirmées par les résultats de la méthode des disques qui a dévoilé une très haute activité inhibitrice de l'extrait hydroéthanolique pur non dilué de *Mentha piperita* L., qui a produit des diamètres d'inhibition les plus élevés de 1365 et 1667 mm chez les germes lactiques successives *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

L'efficacité antimicrobienne de cet extrait à l'état pur vis-à-vis de ces deux germes a été estimée à 63 et 50% respectivement comparativement à la Gentamycine reconnu comme étant un antibiotique à large spectre et à fort pouvoir antimicrobien. Des taux d'inhibition moins importants variables ($p < 0.01$) de 0, à 34.61, à 35.39 et à 44.62% pour les *S.thermophilus* et de 0, à 23, à 27 et à 31% pour les *L.bulgaricus* ont été également observés en fonction de la concentration croissante de l'extrait végétal de 20, à 40, à 60 et à 80%. A ce propos, plusieurs travaux ont rapporté la sensibilité de ces deux bactéries lactiques aux extraits hydroalcooliques de *Thymus vulgaris* L. (Khelifi et al., 2018) et de *Mentha piperita* L., (Ait chabane al., 2021) riches en composés phénoliques.

Par ailleurs, conformément à la norme annoncée par (Denis et al., 2011) et d'après les rapports CMB/CMI inférieurs à 2, l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., étudié semble exercer un effet inhibiteur de type bactéricide vis-à-vis des deux germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. Nos résultats ne concordent pas à ceux de Ait chabane et al. (2021) qui ont démontré un effet bactériostatique de l'extrait hydroéthanolique d'une menthe poivrée récolté en juin contre le germe *Lactobacillus bulgaricus*. Cette différence d'activité est certainement due à une différence quantitative et qualitative en principaux composés phénoliques à effets antimicrobiens variables contenus dans l'extrait et qui peut être conditionnée par de nombreux facteurs dont la période de récolte, la lumière, la nature du sol, la température...etc. (Sivakumar et al., 2018 ; Tmušić et al., 2021). En effet, au plan biologique, l'activité d'un extrait bioactif est déterminée par sa composition chimique, ainsi que par les groupes fonctionnels de ses principaux composés et leurs effets synergiques (Lahlou et al., 2022). D'après les résultats d'analyse du profil en composés phénoliques par LCMS/MS, l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., examiné dans cette étude s'est avéré très riche notamment en acides phénoliques reconnus pour leurs forts pouvoirs antibactériens (Wang et al., 2019) ainsi qu'en flavonoïdes comme l'hespéridine et l'hespéretine dont les propriétés antibactériennes ont été rapportées par de nombreux auteurs dont (Choi et al., 2022). de ces composés phénoliques qui peuvent agir soit par l'induction des lésions et des perturbations de la membrane cytoplasmique entraînant la libération du contenu cytoplasmique (Weng et al., 2024), une réduction de la synthèse protéique (Martinengo et al., 2021), génération du peroxyde d'hydrogène (Tsushima

et al., 2000 ; Cushing et al., 2011) ; soit par inhibition de la synthèse d'ADN et d'ARN (Cushnie et al., 2011) et/ou soit par inhibition du métabolisme énergétique par le biais de la désactivation de l'ATP synthétase ou de la NADH-cytochrome c réductase (Haraguch et al., 1998 ; Nazzaro et al., 2013).

2.4. Qualité des yaourts à l'extrait de *Mentha piperita* L.

2.4.1. Bactéries spécifiques du yaourt

Pendant la période de fermentation, les *Lactobacillus bulgaricus* étaient deux fois moins nombreux que les *Streptococcus thermophilus* dans les yaourts expérimentaux et c'est à partir du début de la post-acidification que leur évolution a commencé à s'accélérer. En réalité, les *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* vivent en symbiose dans les cultures de départ du yaourt et sont mutuellement stimulés l'une par l'autre (Rahman et al., 2016). La littérature rapporte en effet qu'il existe une relation entre ces deux bactéries lactiques, écologiquement appelée proto-coopération, basée sur l'échange de métabolites entre les deux microorganismes (Tamime et Death, 1980 ; Undugoda et Nilmini, 2019, Yamauchi, et al., 2023). En effet, au cours de la fermentation, les *S. thermophilus* et *L. bulgaricus* inoculées simultanément dans le lait se développent d'une manière successive, de telle sorte que le départ de la fermentation est déclenché tout d'abord par les *S. thermophilus* dont la croissance est favorisée par le pH neutre du lait (Tamime et Robinson 1999 ; Courtin et al., 2002, Sieuwerts et al., 2010 , Françoise 2017). Les *S. thermophilus* initient donc la fermentation lactique jusqu'à un certain pH acide du milieu ou leur croissance est freinée en utilisant comme facteur de croissance les acides aminés libres se trouvant dans le lait et libérés par hydrolyse des caséines constitutives par les protéases de surface (PrtB) des *L. bulgaricus* tout en fournissant à ces derniers germes plus acidotolérants comme facteurs de croissance de l'acide formique et du CO₂ leurs permettant d'achever la fermentation (Pastink al., 2008 ; Driessen et al., 1982 ; Yamauchi et al., 2018 ; Undugoda & Nilmini, 2019).

Dans la présente étude et tout au long de l'expérimentation, de la période de fermentation au 21^{ème} jour de conservation au froid positif de 6°C, l'évolution des *S. thermophilus* et des *L. bulgaricus* était inversement proportionnelle aux doses d'extrait de menthe introduites dans le yaourt. L'analyse de la variance a révélé un effet négatif et significatif ($p < 0.01$) des quantités d'extrait phénolique de *Mentha piperita* L., ajoutées sur la viabilité des deux bactéries lactiques étudiées. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par (Khelifi et al., 2018) qui ont constaté un ralentissement de la croissance de ces deux germes d'une manière proportionnelle aux doses d'extrait phénolique de *Thymus vulgaris* L., additionnées au yaourt étuvé. Dans le même contexte d'idée, Muniandy et al. (2017) ont démontré que l'incorporation des extraits de trois types de thé (noir vert et blanc) riches en composés bioactifs dans le yaourt réduisait remarquablement la survie particulièrement des *S. thermophilus* du yaourt au cours de 21 jours de réfrigération à 6°C. Dans une étude antérieure, Kailasapathy et al. (2008) ont observé aussi que les composés phénoliques de la baie de la passion (*Ruta chalepensis*) et/ou du fruit de la passion (*Passiflora edulis*) additionnés à 10% (1g/10g) dans le yaourt altèrent significativement ($p < 0.01$) la croissance de certaines bactéries probiotiques telles que *L. acidophilus*.

Apparemment, après 4 heures de fermentation et durant toute la période (de 21 jours) de stockage à 6°C, le nombre des *S. thermophilus* et des *L. bulgaricus* était présent dans les yaourts expérimentaux à un seuil supérieur ou égal à 10⁷ UFC/g, et ce même avec une supplémentation sévère de 6% d'extrait phénolique de menthe poivrée. Nos yaourts répondent donc largement à la norme admise par le Comité international du Codex Alimentarius (**Joint FAO/WHO, 2003**), qui recommande que le yaourt doit contenir au minimum 10⁷ UFC/g de *St* et de *Lb* viables.

Enfin, durant l'expérimentation, les *S.thermophilus* étaient tout de même numériquement supérieurs aux *Lb. bulgaricus* et ceci du début à la fin de la période de stockage au 21^{ème} jour de post acidification. Cet avantage numérique des *St* serait lié à la performance de la souche elle-même dont sa capacité à synthétiser des nutriments azotés ; alors que les *Lb* sont auxotrophes pour la plupart des acides aminés (**Van De Guchte et al., 2006**).

2.4.2. Qualité physicochimique

Durant les deux périodes de l'étude, du début de la fermentation à la fin de la phase de post-acidification, tous les yaourts expérimentaux ont montré une diminution de pH de 6,43 à 4,54 accompagnée d'une nette augmentation de l'acidité Dornic de 18.33 à 85.77°D, en moyenne. Ceci résulte, sans aucun doute, de l'activité fermentaire des *S. thermophilus* et des *L. bulgaricus* dont le rôle principal dans la fabrication consiste à acidifier le milieu par transformation du lactose du lait en acide lactique conduisant à la formation d'un caillé lactique au pH_i de 4.6 et conférant au yaourt même au cours du stockage à basse température de 6°C ou la fermentation se poursuit par les *L. bulgaricus* un goût de fraîcheur acide typique et très recherché par les consommateurs (**Accolas et al, 1977 ; Zourari et al., 1992**).

L'ajout de l'extrait hydroéthanolique de Menthe poivrée n'a exercé aucun effet significatif ($P > 0.05$) sur les valeurs de l'acidité et non plus sur le pH des yaourts au départ de la fermentation. Cependant, après 2 heures de fermentation jusqu'au terme de la conservation à 6°C, au 21^{ème} jour, un effet hautement significatif ($p < 0,01$) de l'ajout d'extrait sur les variations de pH et d'acidité des yaourts a été observé. Ainsi, durant les deux périodes de l'étude, l'acidité a suivie une évolution inverse à celle de pH en fonction des taux variables de (0, à 2, à 4 et à 6%) d'extrait de menthe poivrée riche en composés phénoliques ajoutés aux yaourts ; soit respectivement des valeurs de pH qui ont augmenté ($p < 0.01$) de 5.41 ; à 5.52 ; à 5.62 et à 5.77 en moyenne contre des teneurs en acidité qui ont diminué ($p < 0.01$) de 46.00, à 44.22, à 42.33 et à 40.11 °D, en moyenne durant la fermentation et des valeurs de pH qui ont évolué ($p < 0.01$) de 4.37, à 4.55, à 4.67 et à 4.77 en moyenne contre des teneurs d'acidité qui ont varié ($p < 0.01$) de 91.43 ; à 84.78 ; 78.98 et à 72.81 °D en moyenne durant toute la période de stockage de post acidification. Nos résultats confirment ceux de plusieurs auteurs qui ont observé avec l'élévation des doses d'extrait alcoolique de *Thymus vulgaris* (**Khelifi et al., 2018**) et de *Mentha piperita* L. (**Al-Shawi, 2020**) incorporées des réductions inversement proportionnelles de l'acidité et des augmentations proportionnelles des valeurs de pH des yaourts. Ceci comme l'a signalé (**Ait Chabane et al., 2021**) est probablement en rapport avec l'abaissement de la production de lactate par les bactéries starters spécifiques du yaourt dont la croissance est de plus en plus freinée par les taux d'incorporation élevées d'extrait riche davantage en composés phénoliques à effet antibactérien.

Le rôle principal des bactéries de démarrage représentées par les *S. thermophilus* ne semble pas être altéré par l'ajout d'extrait de menthe dans la fabrication du yaourt même à de fortes doses d'incorporation. L'acidification par fermentation lactique du lait par ces germes a donc induit un abaissement de pH normal du lait, suivi sans doute d'une solubilisation progressive du phosphate de calcium micellaire à l'origine d'une déminéralisation et d'une déstabilisation des micelles de caséine, conduisant donc à une précipitation complète de la caséine dans une plage de pH proche de 4.6 à 4.7 et à une formation d'un caillé lactique plus ou moins ferme (Fox, 1989 ; Zourari et al., 1992).

Il est à souligner que l'acidification est une étape importante dans le processus de fabrication du yaourt, à la fois pour la coagulation du lait et pour ses qualités gustatives, donnant au yaourt son goût acidulé et piquant recherché (Montemurro et al., 2023). Néanmoins, une production trop poussée d'acide lactique, susceptible de se poursuivre au cours de l'entreposage du yaourt au froid positif, peut entraîner une acidification excessive affectant les propriétés organoleptiques du produit (Zourari et al., 1992 ; Guimont et al., 1994). Le développement d'une forte acidité dans le yaourt présente en outre le risque de provoquer une fuite des protéines du lactosérum, phénomène appelé synérèse (Lucey, 2004 ; Undugoda & Nilmini, 2019). Ce type de défaut qualitatif dans la structure du yaourt qui peut raccourcir même la durée de conservation n'a pas été observé dans les yaourts expérimentaux. Apparemment, les valeurs d'acidité relevées à la fin de la fermentation et tout au long de la période de post-acidification pour le yaourt nature et les yaourts supplémentés en extrait se situent bien dans la gamme normale de moins de 150 °D et qui équivaut à une acidité lactique de moins de 1.5 g /100 g de yaourt comme la rapportée (De Moura et al., 2019).

Par ailleurs, il est bien admis que la texture et l'onctuosité du yaourt sont considérées comme des critères essentiels de la qualité du produit (Schmidt et al., 1994). Dans la présente étude, la viscosité apparente de tous les produits a montré une évolution proportionnelle en fonction du temps. Ceci résulte, sans doute, de l'activité fermentaire des cultures bactériennes spécifiques ensemencées (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) qui peuvent générer par fermentation au cours de la fabrication et du stockage à partir du lactose du lait le lactate, entraînant une baisse du pH du milieu et provoquant, au point isoélectrique (pHi = 4.6) l'agrégation des caséines avec comme conséquence une formation d'un gel qui confère au yaourt une structure visqueuse (Koutina et al., 2015). Toutefois, cette viscosité semble être significativement altérée selon les doses croissantes d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., administrées dans les produits. En effet, les meilleures valeurs de viscosité ont été obtenues dans le yaourt témoin, suivi de ceux préparés à 2 et à 4% d'extrait ; tandis que les valeurs les plus médiocres ont été enregistrées dans le yaourt à 6% d'extrait. Ces résultats reflètent clairement la fragilisation du gel lactique en présence d'une forte dose de composés phénoliques qui détermine par conséquent à une certaine concentration l'ampleur de ce phénomène (Szoltysik et al., 2021).

Il est bien admis que la viscosité du yaourt est étroitement liée à la quantité en exopolysaccharides (EPS) élaborée par les bactéries lactiques dans le milieu. En effet, les *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* sont tous deux capables de produire des

EPS (Cerning 1990, Laws et al. 2001) ; alors qu'en co-cultures, leurs niveaux de production sont plus élevés (Cerning 1990, Frengova et al., 2000, Sieuwerts et al., 2010). Ces EPS sont le plus souvent composés de galactose et de glucose et éventuellement du mannose et du rhamnose selon les souches, mais peuvent contenir aussi des traces de xylose et d'arabinose chez *L. bulgaricus* (Rul, 2017). Ces EPS renforcent la structure du gel grâce à leur aptitude à interagir avec les caséines (Schmidt et al., 1994). En outre, en se fixant aux molécules d'eau, elles réduisent le phénomène de synérèse et par conséquent améliorent la viscosité du produit (Nikitina et al., 2023). La réduction de la viscosité suivant les doses d'extrait additionnées dans les produits pourrait donc être une réponse directe de l'altération de la viabilité des deux bactéries spécifiques productrices d'EPS suite à l'action antibactérienne dont l'action est proportionnelle aux teneurs en composés phénoliques (Lobiuc et al., 2023) présents dans l'extrait. A ce propos, nos résultats corroborent ceux de plusieurs auteurs qui ont aussi constaté une réduction de la viscosité du yaourt suite à l'ajout d'extraits phénoliques des feuilles de noyer (Shiravani & Ansari, 2020) et de *Thymus vulgaris* L (Khelifi et al., 2018).

2.4.3. Qualité organoleptique

La qualité sensorielle des yaourts expérimentaux a été évaluée par les panelistes en tenant compte de plusieurs critères organoleptiques dont la saveur (gout acide, gout de fraîcheur et arrière gout), l'apparence (adhésivité, cohésivité et couleur), ainsi que l'odeur. En réalité, différents composés volatils et aromatiques contribuent à la saveur et l'appétence du yaourt. Le lactate produit par fermentation du lactose constitutif du lait par les bactéries spécifiques du yaourt est considéré comme étant le plus important de ces composés (Ott et al., 2000 ; Rash et al., 1990 ; Cheng, 2010). Sa production s'est avérée relativement altérée par l'action bactéricide des composés phénoliques contenus dans l'extrait de *Mentha piperita* L. (Hussein et al., 2020) ajouté notamment à des doses sévères de 6%. Cependant, cet acide lactique, qui confère au yaourt son goût acide caractéristique, semble être produit à des niveaux suffisants à des teneurs de 2 et 4% d'extrait dans le yaourt. D'un autre côté, l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétone, l'acétoïne et de nombreux autres composés aromatiques produits par *Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus* (Beshkova et al., 1998) peuvent de concert contribuer, éventuellement à l'équilibre et à la finesse de l'arôme des produits.

Plusieurs auteurs (Hunger, 1985 ; Ott et al., 2000) ont rapporté que les consommateurs ont une préférence gustative pour les yaourts plus doux et moins acides. Harper et al. (1991) ont rapporté aussi que le niveau d'acceptabilité d'un yaourt est étroitement lié au degré de perception de son acidité et que les moins aigres sont les mieux appréciés par un panel formés de spécialistes. Dans la présente étude, les scores relatifs au goût acide ont révélé une meilleure acceptabilité par les panélistes pour le yaourt additionné à 2% d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. Celui-ci a même été mieux apprécié que le témoin durant toute la période de post-acidification, en raison de son goût légèrement moins acidulé résultant d'une moindre production d'acide lactique par les *Streptococcus thermophilus* et les *Lactobacillus bulgaricus*, dont l'activité fermentaire a été diminué relativement sous l'effet antimicrobien exercé par les composés phénoliques contenus dans l'extrait ajouté. Par ailleurs, à côté du lactate les traces de composés volatils comme le pipéritone, le menthole, le menthone et le limonène (Eftekhari

et al., 2021) constitutifs de l'extrait expérimental semblent former un excellent cocktail avec les arômes habituels (acétaldéhyde, diacétyl, acétone, acétoïne) du yaourt lorsqu'il est ajouté à une faible dose de 2% pour rehausser l'acidité ainsi que son caractère de fraîcheur.

Au contraire, la fermentation lactique du témoin, s'est poursuivie à un rythme plus intense et plus soutenue au cours de la post-acidification. Le jury de dégustation a qualifié, enfin, les yaourts préparés à 4 et 6 % d'extrait de menthe poivrée d'un goût acide fade et déplaisant ainsi que d'un arrière-goût désagréable très prononcé en conséquence sans doute à l'amertume manifeste de certains composés phénoliques comme l'acide rosmarinique et les flavonoïdes (Weimann & Heinrich, 1997) ramenés par l'extrait expérimental à de fortes doses dans le produit et à la très faible production de lactate dans le milieu par les bactéries spécifiques dont l'activité fermentaire a été relativement freinée par l'effet antimicrobien de ces composés bioactifs.

Concernant le critère adhésivité désignant la force nécessaire pour retirer la matière collante mis en bouche lors de la prise alimentaire (Mudgil et al., 2017 ; Kose et al., 2018) il semble de moins en moins acceptés par les panélistes avec l'augmentation des doses d'extrait de menthe dans les yaourts. Cette adhésivité dont la force est souvent proportionnelle à la texture dure du caillé (Kárnyáczki & Csanádi, 2017) s'est démarquée, ainsi, par une corrélation négative avec l'ajout d'extrait de *Mentha piperita* L., dans le yaourt.

Tandis que pour la cohésivité correspondant à la déformabilité d'un matériau avant de se rompre lorsqu'il est écrasé entre les doigts et qui permet aux panélistes d'apprécier le caractère texturant du caillé lactique (Chandra et Shamasundar, 2015 ; Kose et al., 2018), il ressort aussi de nos résultats que le yaourt nature a été le mieux apprécié pour cet attribut organoleptique comparativement aux yaourts additionnés d'extrait de menthe. Ceci pourrait être expliqué par le recul de la production d'exopolysaccharides par les ferments lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* en présence des composés phénoliques de l'extrait de menthe poivrée ajouté et qui ont certainement altéré relativement leur prolifération et leur aptitude à élaborer ces glucides complexes dans le milieu. Rawson et Marshal (1997) ont confirmé à ce propos que la qualité rhéologique du yaourt représentée surtout par le critère collant et l'aspect cohésif est proportionnellement liée aux quantités d'exopolysaccharides produites par les souches *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. De plus, de nombreux travaux menés par (Khelifi et al., 2018 et Ait Chabane et al., 2021) ont également suggéré une chute de la qualité rhéologique des yaourts au cours de la conservation à 6°C suite à l'effet antimicrobien vis-à-vis de ces deux germes exercé par les composés phénoliques d'extraits hydroéthanolique de *Thymus vulgaris* L., et hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., ajoutés notamment à une de forte dose de 6%.

Pendant toute la période de stockage, les yaourts supplémentés à 2 et 4 % d'extrait de menthe ont été, par ailleurs, les mieux évalués et plus appréciés que le témoin et ce, probablement, en raison de la manifestation d'un agréable mélange d'odeurs réunissant les composants aromatiques et odorants ramenés par l'extrait de menthe dont le menthole, le menthone et le limonène (Djenane et al., 2012) et ceux générés par l'activité fermentaires des bactéries du yaourt comme le diacétyl, l'acétaldéhyde et l'acétone (Beshkova et al., 1998). Cependant, cette activité bactérienne des germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* productrice

d'arômes et de parfum semble être atténuée sous l'effet de l'extrait introduit à de fortes doses de 6% à effet antimicrobien et dont les principaux composés bioactifs constitutifs ont masqué notablement l'odorat naturel du yaourt.

De même, le jury de dégustation a mieux apprécié la couleur du yaourt à 2% d'extrait que la couleur blanchâtre naturelle du yaourt témoin ; alors que les préparations à 4 et 6% d'extrait semblent avoir des couleurs, moins blanches, d'un brun plus intenses et moins agréables conférées certainement par certains composés phénoliques dont les anthocyanes bien connus responsables des teintures caractéristiques chez les végétaux (Farnad et al., 2014 ; Alappat & Alappat, 2020).

2.4.4. Activité antioxydante du yaourt

Bien que le yaourt lui-même possède une fonction antioxydante non négligeable liée à de nombreux peptides bioactifs issus du métabolisme des bactéries lactiques (Kudoh et al., 2001 ; Gomez-Ruiz et al., 2008) susceptibles de lutter contre de nombreux cas de cancers en contribuant à la promotion du potentiel antioxydant et d'inhibition de la peroxydation lipidique (Virtanen et al., 2007), l'ajout d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., fait apparaître aussi dans cette présente étude qu'il peut renforcer d'avantage cette activité antioxydante à effet bénéfique pour la santé.

En effet, au 1^{er} jour de stockage, comparativement au témoin, l'ajout de 2% seulement d'extrait au yaourt a entraîné une augmentation ($p < 0.01$) de l'activité de piégeage des radicaux DPPH et ABTS de 38.66 et 21.98% respectivement ; alors qu'une supplémentation extrême de 6% d'extrait a rehaussé ($p < 0.01$) ces valeurs respectivement de 49.19 et 42.49%.

Nos résultats rentrent en ligne de compte avec ceux de Peker et Arslan (2016) et Cho et al. (2020a) qui ont constaté des activités antioxydantes importantes avec l'incorporation des teneurs croissantes en extrait phénoliques de feuilles d'olivier dans le yaourt. Dans le même contexte, Mohamed Ahmed et al. (2021) ont également démontré, dans une étude plus récente, que l'activité de piégeage des radicaux du DPPH augmentait avec les doses croissantes de l'extrait de feuilles d'argel (*Solenostemma argel* Hayne) incorporées dans le yaourt. D'après Amirdivani & Baba (2011), les activités antioxydantes plus élevées dans le yaourt à base d'extrait de *Mentha piperita* L., par rapport au yaourt nature sont dues, sans aucun doute, aux contenus phytochimique de la plante. Il ressort donc de ces résultats que l'incorporation d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. a renforcé considérablement les propriétés bioactives et l'activité antioxydante du yaourt ferme et pourrait donc offrir des avantages potentiels pour la santé.

Par ailleurs, en fonction du temps de stockage au froid positif de 6°C tous les yaourts expérimentaux ont montré une diminution des activités de piégeage des radicaux DPPH et ABTS, pour atteindre des valeurs minimales à la fin de la période de conservation. Toutefois, en fin d'entreposage au 21^{ème} jour, les yaourts enrichi en extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. ont toujours présenté des activités antioxydantes meilleures que celle du témoin. La réduction des activités de piégeage des radicaux DPPH et ABTS pendant le stockage a été rapportée par plusieurs auteurs (Vital et al., 2015 ; Pan et al., 2019 ; Cho et al., 2020a ; Mohamed Ahmed

et al., 2021) et elle pourrait être en partie attribuée à la formation d'un complexe entre les polyphénols présents dans l'extrait incorporé et les protéines du yaourt, réduisant ainsi les pouvoirs particuliers des composés phénoliques dont l'action antioxydante (Vital et al., 2015 ; Mohamed Ahmed et al., 2021). Les groupes hydroxyle des composés phénoliques sont d'excellents donneurs de liaisons et forment donc des liaisons hydrogène fortes avec le carbonyle de l'amide du squelette peptidique (Luck et al., 1994 ; O'Connell et Fox, 2001). Il a été aussi rapporté que les protéines contenant un nombre important de proline présentaient une forte affinité pour les polyphénols (Poncet-LeGrand et al., 2006 ; Frazier et al., 2010 ; Perna et al., 2014). Les résidus de prolines peuvent ainsi se lier par des interactions hydrophobes aux anneaux aromatiques des polyphénols conduisant à l'enroulement de la protéine autour du composé phénolique (Dickinson et Mann, 2006). Au fait, 4 types de liaisons différentes peuvent être établies entre le polyphénol et la protéine dont hydrophobe, hydrogène, covalente et ionique (Hagerman et al., 1998 ; Rawel et al., 2002). Les incidences de ces interactions sur le pouvoir antioxydant dépendraient à la fois du type de phénols et de la composition en acides aminés du composé peptidique et les complexes protéine-polyphénol ainsi formés pourront par conséquent réduire ou accentuer l'activité antioxydante (Prigent et al., 2003). La combinaison des composés phénoliques d'un tel extrait de *Mentha piperita* L., avec le yaourt peut contribuer ainsi à promouvoir considérablement sa qualité diététique et sa durée de conservation.

La peroxydation lipidique des yaourts expérimentaux, exprimée en terme de substances réactives de l'acide thiobarbiturique (TBARS), s'est révélée, en revanche, diminuer proportionnellement avec l'ajout de différentes doses d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., qui semblent apporter aux produits une plus grande stabilité des lipides par rapport au témoin. En fonction du temps de stockage il a été remarqué une nette augmentation des valeurs de TBARS dans tous les yaourts expérimentaux enrichis ou non d'extrait de menthe poivrée. Néanmoins, le témoin a présenté même après 20 jours de réfrigération des valeurs de TBARS supérieures à celles présentées par le yaourt nature. Ce résultat suggère éventuellement que l'ajout de l'extrait de menthe poivrée pourrait améliorer la fraction lipidique et prolonger la durée de conservation du produit lors d'un stockage prolongé au froid positif à 6°C. Nos résultats corroborent ceux avancés par de nombreux auteurs qui ont rapporté avec certitude que l'ajout d'extraits phénoliques d'épillets de palmier dattier (Almusallam et al., 2021b), d'argel (Mohamed Ahmed et al., 2021) et d'algue (O'Sullivan et al., 2016) permet de réduire sensiblement la peroxydation lipidique et améliore remarquablement la stabilité des yaourts.

2.4.5. Profil lipidique des yaourts

Le taux de matière grasse et sa composition en acides gras constitue un facteur déterminant de la qualité nutritionnelle et sensorielle du yaourt (Mary et al., 2022 ; Paszczyk & Tońska, 2022). La présente étude a révélé une légère ($p > 0.05$) diminution du taux de matière grasse totale (MGT) dans les produits en fonction de la période de stockage. Khalil et al. (2022) ont constaté aussi que la teneur en matières grasses du yaourt diminuait au cours du stockage réfrigéré. Cette baisse est probablement attribuée à l'action des lipases des bactéries starters du yaourt.

La lipolyse est considérée comme l'un des principaux phénomènes biochimiques qui affectent sensiblement la durée de vie de nombreux produits laitiers (Alirezalu et al., 2019). C'est

également un phénomène important dans la détermination de la saveur caractéristique des produits laitiers. L'ajout de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. semble pallier à ce phénomène dans la mesure où le témoin a présenté une baisse de matière grasse totale d'environ 0.02% ; un peu plus élevée que celle observée pour les yaourts enrichis en extrait de menthe qui ont montré une diminution de seulement 0.014% au cours de 20 jour de stockage. Ceci résulte, assurément, d'une atténuation du phénomène de lipolyse liée à l'effet antibactérien exercé par les composés phénoliques de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. ajouté sur la croissance des cultures starters du yaourt. Par ailleurs, la grande richesse des feuilles de *Mentha piperita* L., en acides gras estimée à environ 11.64 mg/g d'après **Savych et al. (2021)** laisse penser qu'une certaine proportion de la fraction lipidique de la plante a été emportée dans l'extrait et renforcée le contenu en matières grasses du produit fini.

En outre, il a été remarqué, dans la présente étude, une augmentation variable en certains acides gras dans tous les échantillons expérimentaux élaborés, avec ou sans extrait de *Mentha piperita* L. Ceci est certainement le résultat de l'activité variable des bactéries starters du yaourt qui adoptent la modification du profil lipidique comme l'une des stratégies d'adaptation aux variations des conditions environnementales dont l'acidité du milieu (**Tidona et al., 2018 ; Bahrami et al., 2020**). Par ailleurs, l'ajout d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L n'a pas induit d'influence significative ($p > 0.05$) sur les teneurs en acides gras appartenant aux groupes d'acides gras saturés et non saturés (AGS, AGMI, AGPI) présents dans les yaourts expérimentaux. Toutefois, du début jusqu'à la fin du stockage réfrigéré à 6°C, une dominance des AGS par rapport aux AGI a été constatée dans les yaourts expérimentaux. Cette insaturation importante des acides gras augmente sans doute leur sensibilité à la peroxydation (**Halliwell et al., 1999**) et peuvent aussi être une cible privilégiée pour les espèces réactives de l'oxygène, qui sont à l'origine des saveurs rances inacceptables des yaourts (**Dragoev et al., 2024**). Une même tendance en terme d'abondance des acides gras saturés par rapport aux acides gras mono et polyinsaturés a été remarqué dans cette étude par comparaison à une autre étude menée sur des yaourts supplémentés d'extrait en décoction de fenouil et de camomille comme additifs naturels et ceux ayant reçu une même dose de sorbate de potassium (E202) pendant un stockage de 14 jours à 6°C (**Caleja et al., 2016**) .

L'analyse chromatographique (GC-FID) a également montré une relative réduction par adjonction d'extrait hydroéthanolique de menthe poivrée dans le yaourt des teneurs en acides gras à chaînes courtes et moyennes (AGCCM) dont notamment les acides butyrique (C4:0), caproïque (C6:0), caprylique (C8:0), caprique (C10:0) et laurique (C12 :0). Malgré que cette diminution d'AGCCM n'est pas tellement significative ($p > 0.05$) avec l'ajout d'extrait de menthe mais elle reste certainement favorable pour la santé étant donné que ces acides gras sont les plus impliqués dans les maladies coronariennes (**Ebbesson et al., 2015 ; Bianchi et al., 2017**).

En outre, sur le plan gustatif, il a été rapporté que les acides gras à courte et moyenne chaîne (AGCC et AGMC) ont une incidence déterminante sur la saveur caractéristique du produit fini. Les acides butyrique, caproïque et caprylique confèrent au yaourt une saveur âcre, tandis que les taux élevés en acides caprique et laurique sont susceptibles de lui procurer un goût savonneux (**Kumari et al., 2016**). Il convient de noter que certaines acides gras indispensables que le corps

humain ne peut synthétiser et dont la présence est susceptible d'améliorer la valeur nutritionnelle du produit comme les oméga-3, réputés comme étant indispensables au développement et au bon fonctionnement du corps humain par leurs effets bénéfiques sur le cerveau, le cœur, les yeux, les articulations, la peau ainsi que sur le comportement humaine (Qin et al., 2017, Almasi et al., 2021) ont été retrouvés à des proportions variables dans les yaourts expérimentaux. L'ajout d'extrait de *Mentha piperita* à 4% dans le yaourt fonctionnel élaboré dans cette étude semble, ainsi, améliorer son contenu en oméga3 d'une proportion de 45.94% et de 21.73% par rapport au témoin, respectivement, au 1^{er} et 20^{ème} jour de stockage réfrigéré à 6°C. À notre connaissance aucune étude n'a été menée, à ce jour, sur l'effet des extraits phénoliques des plantes médicinales ou aromatiques sur le profil de matière grasse des produits laités fermentés tels le yaourt étuvé.

Cependant, l'augmentation de la teneur en oméga 3 constatée dans le cadre de notre étude dans le yaourt supplémenté d'extrait de menthe peut être expliquée par deux hypothèses dont la première met en cause les propriétés antioxydantes des composés phénoliques contenus dans l'extrait qui viennent protéger ce type d'acides gras d'une éventuelle hydrolyse (Bakry et al., 2019) ou encore la richesse de l'extrait lui-même en oméga-3. En effet, une corrélation positive entre les composés phénoliques et les oméga-3 a été démontrée lors d'une étude chez *Thymelaea hirsuta*. L. (Bouzouina et al., 2016). En outre, (Savych et al., 2021) a démontré par une analyse par GCMS l'existence d'une forte proportion d'oméga-3 dans l'extrait hydroalcoolique de poudre de feuilles de *Mentha piperita*.L. L'acide α -linoléiques (ALA, C18:3n3) figurent parmi les principaux oméga-3 dans les yaourts supplémentés surtout d'extrait de menthe à 4%. Selon la littérature, une alimentation riche en ALA est associée à un moindre risque de développement de cancer, de maladie coronarienne et d'infarctus aigu du myocarde (Lin et al., 2018). L'ALA est aussi un précurseur de synthèse des acides gras polyinsaturés n-3 (AGPI n-3) tels que l'EPA (acide cis-5, 8, 11, 14, 17-eicosapentaénoïque, C20:5n3) et DHA (acide cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-acid edocosaénoïque, C22:6n3) qui sont aussi reconnus pour leurs effets positifs sur le système cardiovasculaire (Fleming & Kris-Etherton, 2014 ; Lin et al., 2018).

Durant l'expérimentation, l'ajout de l'extrait au yaourt a significativement ($p < 0,01$) amélioré son contenu en l'ALA (C18:3n3) d'environ 56.51 et 42.19 % par rapport au témoin au 1^{er} et 20^{ème} jour de stockage. Nos résultats montrent aussi un faible rapport $\omega 6/\omega 3$ pour le yaourt additionné d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., par rapport au témoin. A ce propos, plusieurs études suggèrent qu'un rapport $\omega 6/\omega 3$ élevé est lié à de nombreuses pathologies étant susceptible de stimuler la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires, et par conséquent induire une inflammation de bas niveau et favoriser l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien dans les troubles dépressifs majeurs (Patel et al., 2022). Du point de vue nutritionnel les valeurs inférieures à 5 et les rapports oméga-6/oméga-3 variables de 1:1 à 5:1 sont à recommander (Lupette & Benning, 2020).

Dans la présente étude, les rapports oméga-6/oméga-3 de 4.32 et 4.11 enregistrés respectivement au 1^{er} et au 20^{ème} jour de stockage dans le yaourt à 4% d'extrait de *Mentha piperita*.L., s'avèrent s'inscrire pleinement dans la norme admise contrairement au témoin qui accuse des valeurs plus médiocres de 6.76 et 5.21.

Conclusion partielle

La menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) collectée dans la région saharienne d'Algérie à Ouargla a montré un rendement d'extraction à l'éthanol aqueux des principaux composés bioactifs intéressant de 16.16%. L'extrait de la plante obtenu est bien pourvu en composés phénoliques totaux (359.61 mg EAG/g *EL*) représentés en grande partie (à 93.35%) d'acides phénoliques dont l'acide rosmarinique a été démontré comme étant le composé le plus abondant avec une teneur de 339.88 mg/g d'extrait sec. Il est aussi riche en flavonoïdes totaux (219.77mg EQ/g *EL*) appartenant principalement à la classe des flavones, flavanones et flavonols. Cette diversité chimique en composés bioactifs a conféré à l'extrait un potentiel antioxydant considérable estimé par les tests au DPPH et à l'ABTS avec des IC50 de 3.16 et 2.50 mg/ml, respectivement.

Les tests antimicrobiens ont révélé un effet antibactérien significatif ($p < 0.01$) de type bactéricide, exercé par l'extrait hydroéthanolique de menthe poivrée notamment à de fortes doses de 20 à 100% contre respectivement *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

L'objectif de concevoir un yaourt étuvé alicament en y ajoutant les composés bioactifs contenus dans l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., semble être atteint. En effet, l'ajout particulier à 2% d'un tel extrait de la plante objet de l'étude au yaourt étuvé a sensiblement renforcé son potentiel antioxydant, a considérablement protégé sa fraction lipidique d'une éventuelle peroxydation et a préservé davantage sa qualité physicochimique et microbiologique durant la conservation.

L'ajout du dit extrait au yaourt à un taux de 4% a offert au produit une composition de matière grasse très renforcée de 42.19 à 56.51 % en acide α -linoléique qui est un acide gras essentiel de la série $\omega 3$ et des rapports $\omega 6/\omega 3$ variables dans l'intervalle des normes nutritionnelles préconisées de 4.11 et 4.32.

Au plan organoleptique, le yaourt additionné de 2% d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. a révélé une meilleure acceptabilité par les panélistes et a même été mieux apprécié que le témoin pour son goût légèrement acidulé et sa fraîcheur agréable. Par ailleurs, le yaourt préparé à 4 % d'extrait a été jugé en seconde position pour le critère de l'odeur, après celui préparé à 2 % d'extrait ; avec des scores plus élevés que ceux du témoin et celui contenant 6 % d'extrait.

Chapitre II

*Effets d'ajout d'extrait
hydrométhanolique de Mentha piperita L.
sur la qualité d'un yaourt étuvé*

Chapitre II : Effets d'ajout d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. sur la qualité d'un yaourt étuvé.

1. Résultats

1.1. Screening phytochimique de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.

Les résultats du criblage phytochimique de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. (EHMMP) et du rendement d'extraction sont représentés dans le (Tableau 23). L'extraction par macération des parties aériennes de *Mentha piperita* L., dans du méthanol aqueux a montré un rendement considérable d'environ (17.51%) et l'extrait obtenu s'est révélé très riche (+++) en phénols totaux et en flavonoïdes, moins riche (++) en coumarines et en stérols et renferme de faibles proportions (+), d'alcaloïdes, de tannins catéchiques, d'anthocyanes et de sucres réducteurs; alors qu'il est dépourvu (-) de leucoanthocyanes, de quinones, de triterpènes et de Saponines.

Tableau 23. Principales substances phytochimiques recensées dans l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.

Composés phytochimiques	Tests	Résultats	Rendement d'extraction
Phénols	FeCl ₃	+++	17.51%
	Réactif de Dragendorff	+	
Alcaloïdes	Réactif de Bouchardat	+	
	Réactif de Mayer & Wagner	+	
Flavonoïdes	AlCl ₃	+++	
Tannins galliques	FeCl ₃	-	
catéchiques	FeCl ₃	+	
Anthocyanes	NH ₄ OH	+	
Leucoanthocyanes	Alcool isoamylique	-	
Coumarines	NaOH	++	
Stérols	Test de Liebermann-Burchard	++	
triterpènes	Test de Liebermann-Burchard	-	
Quinones	NH ₄ OH	-	
Saponine	Test de mousse	-	
Sucres réducteurs	Solution de Fehling	+	

+++ : réaction franchement positive ; ++ : réaction positive ; + : réaction moyennement positive ; ± : réaction louche ; - : réaction négative.

1. 2. Composés bioactifs

Selon les résultats mentionnés sur le (Tableau 24), l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. (EHMMP) a montré une teneur en composés phénoliques totaux estimée à 46.73 mg EAG/ml d'EHMMP qui équivaut à environ 07.01 g EAG/100g de poudre de *Mentha Piperita* L.(PMP) et à 412.32 mg EAG/g d'extrait lyophilisé (EL). Le contenu de flavonoïdes totaux a été évalué à 25.80 mg EQ/ml EHMMP et il a été rapporté à 3.87 g EQ/100g de PMP contre 227.65

mg EQ/g d'EL. Tandis que les tannins condensés ont représenté des teneurs de 0.47 mg EC/ml EHMMP, de 0.07g EC/100g de PMP et de 4.15 mg EC/g d'EL.

Tableau 24. Dosage des composés phénoliques de l'extrait hydrométhanolique de Menthe poivrée.

Composés bioactifs	Echantillons	Teneurs
Composés phénoliques totaux	Poudre de la plante (g EAG/100g PMP)	07.01 ± 0.01
	Extrait liquide (mg EAG/ml EHMMP)	46.73 ± 0.07
	Extrait lyophilisé (mg EAG/g EL)	412.32 ± 0.71
Flavonoïdes totaux	Poudre de la plante (g EQ/100g PMP)	03.87 ± 0.06
	Extrait liquide (mg EQ/ml EHMMP)	25.80 ± 0.42
	Extrait lyophilisé (mg EQ/g EL)	227.65 ± 3.92
Tannins condensés	Poudre de la plante (g EC /100g PMP)	00.07 ± 0.01
	Extrait liquide (mg EC/ml EHMMP)	00.47 ± 0.04
	Extrait lyophilisé (mg EC/g EL)	04.15 ± 0.41

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions égal à 03 (n = 3); PMP :poudre de *Mentha Piperita* L. ; EHMMP : extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.; EL :extrait lyophilisé; EAG: équivalent en acide gallique; EQ: équivalent en quercétine; EC: équivalent en Catéchine.

1.3. Profil en composés phénoliques de l'extrait

L'analyse LC-MS/MS de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. a révélé la présence de 25 substances phytochimiques sur un total de 56 substances phytochimiques de référence (**Tableau 25**).

L'extrait analysé s'avère contenir un taux très important d'acides phénoliques estimé à 93.80% dont la plus grande fraction est constituée majoritairement d'acide rosmarinique avec une portion d'environ 92.57% du total des acides phénoliques.

Par ailleurs, les flavonoïdes détectés ont constitué une portion totale plus faible d'environ 5.54% des composés identifiés et ils sont principalement composés de flavones entre autres de cyranoside, cosmosiine, lutéoline à une proportion de 73.97%, de flavanones (hespéridine, Naringénine, hespérétine) à 20.90%, de flavonols (tels que la rutine et l'isoquercitrine) à 4.87% et d'une seule isoflavones (génistéine) qui été estimé à 0.26% de la totalité des flavonoïdes détectés. De plus, un aldéhyde phénolique (aldéhyde protocatechuique) qui n'a représentée que 0.04% du total des composés quantifiés ainsi qu'une faible portion (0.62%) d'acides non phénoliques dont l'acide fumarique ont été détectés (**Figure 24**). Cette analyse a également montré une nette dominance de l'acide rosmarinique par rapport à la totalité ses substances phytochimiques détectées, avec une proportion de 86.83% de la totalité des composés détectés dans l'extrait analysé, suivi de l'acide quinique estimé à 5.86% des composés détectés (23.403mg/g de d'extrait), puis des deux flavones la cyranoside à 2.45% (9.791 mg/g d'extrait sec) et la cosmosiine à 1.21% (4.827 mg/g d'extrait sec).

En outre, l'hespéridine (flavanones) a également marqué une présence dans l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. par une teneur de 4.213mg/g d'extrait et qui correspond à 1.054% de la totalité des substances phytochimiques identifiées. L'extrait analysé semble aussi renfermer de faibles teneurs en acides phénoliques dont les acides caféique ,

chlorogénique, protocatéchique, *p*-coumarique, gallique, salicylique et gentisique évalués à 1.506, 1.408, 0.884, et 0.367, 0.143, 0.101 et 0.042 mg/g d'extrait sec, respectivement ; en flavones dont lutéoline, acacétine, apigénine et la chryisine détectés à des teneurs de 0.755, 0.697, 0.294, 0.143, 0.101 et 0.042 mg/g d'extrait sec, respectivement, en flavonols dont la rutine, l'isoquercitrine, l'astragaline et le kaempferol détectés à 0.603, 0.36, 0.071 et 0.044 mg/g d'extrait sec, successivement ; ainsi qu'en hespérétine (estimés à 0.237 mg/g d'extrait sec) et naringénine (0.174 mg/g d'extrait sec), ainsi qu'en génistéine (0.057 mg/g d'extrait sec) et d'aldéhyde protocatéchique (0.172 mg/g d'extrait sec) (**Figure 25**).

Tableau 25. Profile en composés bioactifs de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. par analyse LC-MS/MS.

Composés identifiés		RT ^a (min)	LOD/LOQ (µg/L) ^f	U ^g	Teneurs (mg/g ES)
Acides organiques	Acide Fumarique	03.90	135.7/167.9	0.0091	02.473 ± 0.02
	Acide Quinique	03.00	25.7/33.3	0.0372	23.403 ± 0.87
Acides phénoliques	Acide Gallique	04.40	13.2/17.0	0.0112	00.143 ± 0.00
	Acide Protocatechique	06.80	21.9/38.6	0.0350	00.884 ± 0.03
	Acide Gentisique	08.30	18.5/28.2	0.0167	00.042 ± 0.00
	Acide Chlorogénique	08.40	13.1/17.6	0.0213	01.408 ± 0.03
	Acide Caffeïque	12.10	7.7/9.5	0.0152	01.506 ± 0.02
	Acide <i>p</i> -Coumarique	17.80	25.9/34.9	0.0194	00.367 ± 0.01
	Acide Salicylique	21.80	6.0/8.3	0.0158	00.101 ± 0.00
	Acide Rosmarinique	26.60	16.2/21.2	0.0130	346.875 ± 4.51
	Flavones	Cyranoside	23.70	12.1/16.0	0.0366
Cosmosiine		28.20	6.3/9.2	0.0083	04.827 ± 0.40
Lutéoline		36.70	2.6/4.1	0.0313	00.755 ± 0.02
Chryisine		40.50	1.5/2.8	0.0323	00.005 ± 0.00
Acacétine		40.70	1.5/2.5	0.0360	00.697 ± 0.03
Apigénine		38.20	1.3/2.0	0.0178	00.294 ± 0.01
Isoflavones	Génistéine	36.90	3.7/5.3	0.0337	00.057 ± 0.02
Flavanones	Hespéridine	25.80	19.0/26.0	0.0335	04.213 ± 0.14
	Naringénine	35.90	2.6/3.9	0.0392	00.174 ± 0.07
	Hespéretine	36.70	2.6/3.9	0.0392	00.237 ± 0.01
Flavonols	Rutine	25.60	15.7/22.7	0.0247	00.603 ± 0.02
	Isoquercitrine	25.60	8.7/13.5	0.0220	00.360 ± 0.01
	Astragaline	30.40	6.6/8.2	0.0114	00.071 ± 0.00
	Kaempferol	37.90	10.2/15.4	0.0212	00.044 ± 0.00
Aldéhydes phénoliques	Aldéhydes Protocatéchique	08.50	15.4/22.2	0.0396	00.172 ± 0.00

Les résultats sont représentés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03; RT^a : Temps de rétention; LOD/LOQ (µg/L)^f: Limite de détection/quantification; U^g (%) : pourcentage d'incertitude relative à un niveau de confiance de 95% (k = 2); ES : extrait sec.

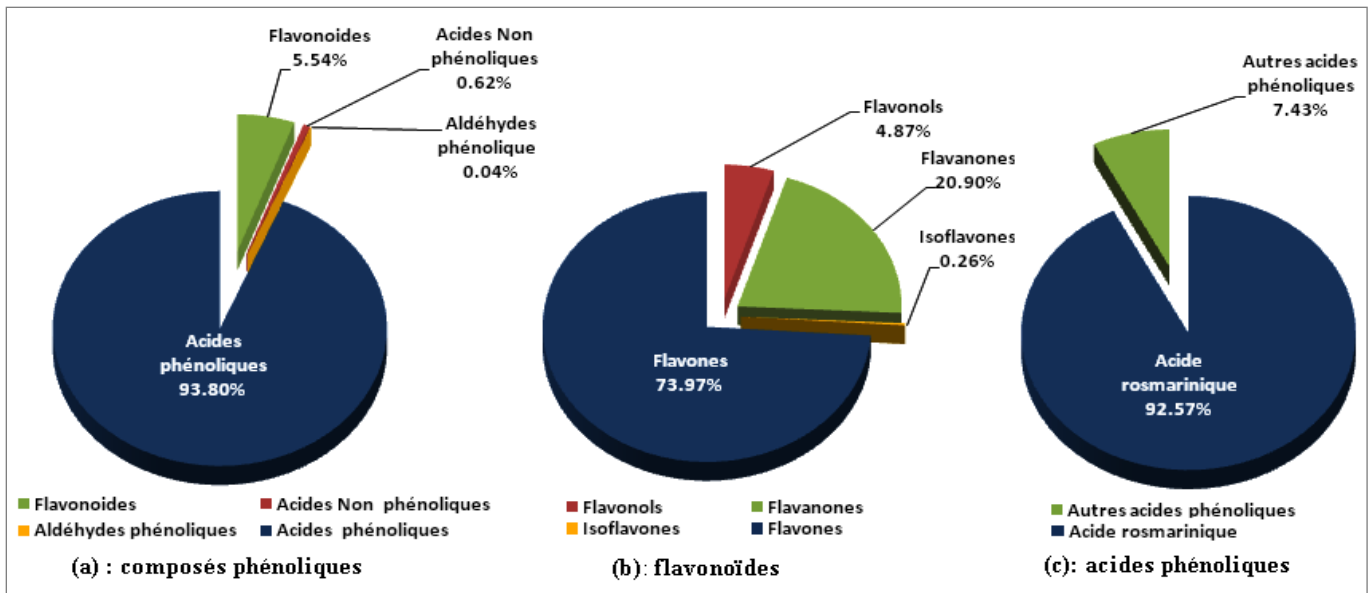


Figure 24. Proportion en composés phytochimiques détectés par analyse LC-MS/MS dans le contenu lyophilisé d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.

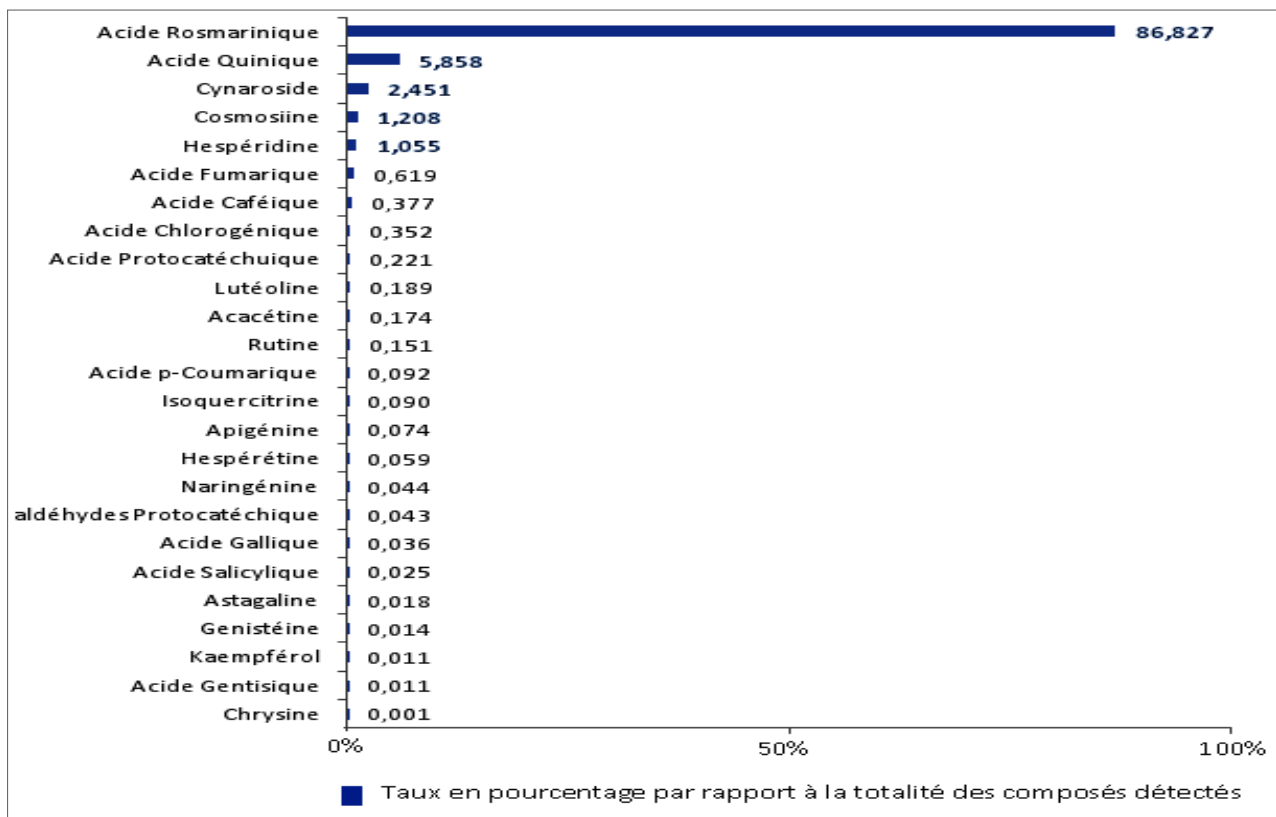


Figure 25. Taux (%) en composés actifs détectés dans l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. par analyse LC-MS/MS.

1.4. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de l'extrait hydrométhanolique des parties aériennes de *Mentha piperita* L. a montré des valeurs d'IC₅₀ de 3.25 et 2.54 mg d'extrait lyophilisé/ml obtenues

respectivement avec les tests de DPPH et d'ABTS. Ces valeurs se sont révélées plus élevées que celles des standards dont les IC50 au test de DPPH ont été estimées, successivement, à 0.16 mg d'acide ascorbique/ml et à 0.03mg de quercétine/ml et selon le test d'ABTS à 1.36 mg d'acide ascorbique/ml et à 1.17mg de quercétine/ml, respectivement (**Tableau 26** ; **Figure 26**).

Tableau 26. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., en comparaison à l'ascorbate et à la quercétine.

Extraits de la plante et standards	IC50 (mg/ml)	
	DPPH	ABTS
Extrait lyophilisé (mg de lyophilisa d' <i>EHMMP</i>)	03.25 ^a ± 0.04	02.54 ^a ± 0.07
Acide ascorbique (mg d'acide ascorbique/ml)	00.16 ^b ± 0.01	01.36 ^b ± 0.03
Quercétine (mg de quercétine/ml)	00.03 ^c ± 0.00	01.17 ^c ± 0.04

Les résultats sont exprimés en moyennes, suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égal à 3 (n=03) ; IC50 : concentration d'extrait ou de standard nécessaire pour inhiber 50% des radicaux DPPH ou ABTS. Un effet hautement significatif P < 0.01 du facteur étudié a été enregistré ; a, b, c : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls.

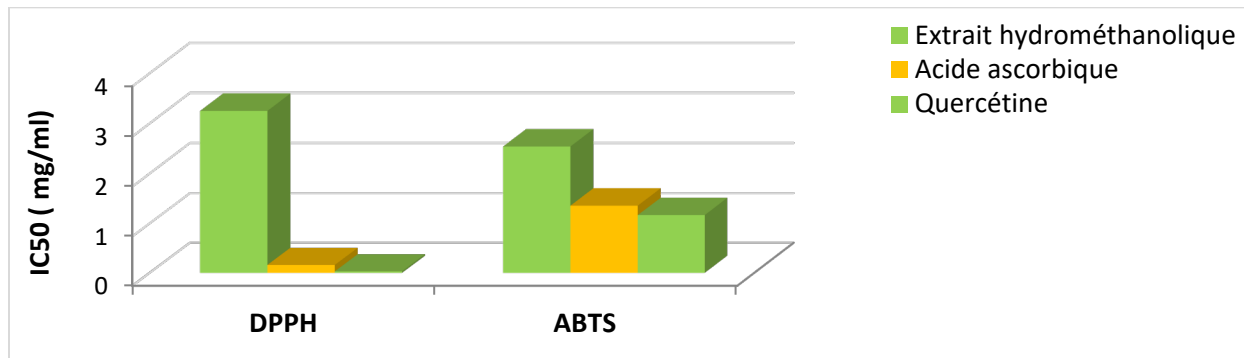


Figure 26. Histogrammes des IC50 de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., de l'acide ascorbique et de la quercétine obtenus par les tests DPPH et ABTS.

1.5. Activité antibactérienne

1.5.1. Test de croissance

Selon les résultats des tests de croissance indiqués dans le (**Tableau 27**) et illustrés dans la (**Figure 27**), les deux espèces bactériennes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* semblent croître de manière inversement proportionnelle aux concentrations d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.

Une baisse significative (P<0.01) du nombre de colonies de *S.thermophilus* a été constatée passant de 356 10⁵, à 291.10⁵, à 124.10⁵, à 63.10⁵ et à 35.10⁵UFC/ml correspondant à des taux de croissance de 100, 81.74, 34.83,17.69 et 9.83% pour des concentrations d'extrait variables de 0, à 20, à 40, à 60 et à 80%, respectivement. L'extrait pur (100%) n'a laissé pousser aucune colonie bactérienne. Ces concentrations ont également eu un impact significatif (P<0.01) sur la croissance de *Lactobacillus bulgaricus*, entraînant une diminution du nombre de colonies de 300 UFC/ml enregistré pour le témoin à 198 10⁵, à 83 10⁵;à 35 10⁵ et à 25 10⁵UFC/ml,

correspondant à des taux de croissance de 100, 60, 27.66, 11.66 et 8.33% obtenus pour des concentrations d'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée de 0, 20, 40, 60 et 80%, respectivement. Cependant, aucune croissance de *L.bulgaricus* n'a été remarquée au contact d'extrait pur concentré à 100%.

Tableau 27. Effets des différentes concentrations d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. sur la croissance des bactéries spécifiques au yaourt.

Espèce bactérienne	Paramètres	Concentrations d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L.						Valeur de p
		0%	20%	40%	60%	80%	100%	
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Nx10 ⁵ UFC/ml	356 ^a	291 ^b	124 ^c	063 ^d	035 ^e	00 ^e	p<0.01
	Taux de croissance(%)	100 ^a	81.74 ^b	34.83 ^c	17.69 ^d	09.83 ^e	00 ^f	
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Nx10 ⁵ UFC/ml	300 ^a	198 ^b	083 ^c	035 ^d	025 ^e	00 ^e	p<0.01
	Taux de croissance(%)	100 ^a	66 ^b	27.66 ^c	11.66 ^d	08.33 ^e	00 ^e	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes avec un nombre de répétitions n= 3 ; N : nombre ; UFC : unité formant colonie; p> 0.05: effet non significatif du facteur étudié (concentrations en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.) ; P < 0.05 : effet significatif du facteur étudié ; P < 0.01 effet hautement significatif du facteur étudié ; a ,b,c... etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls.

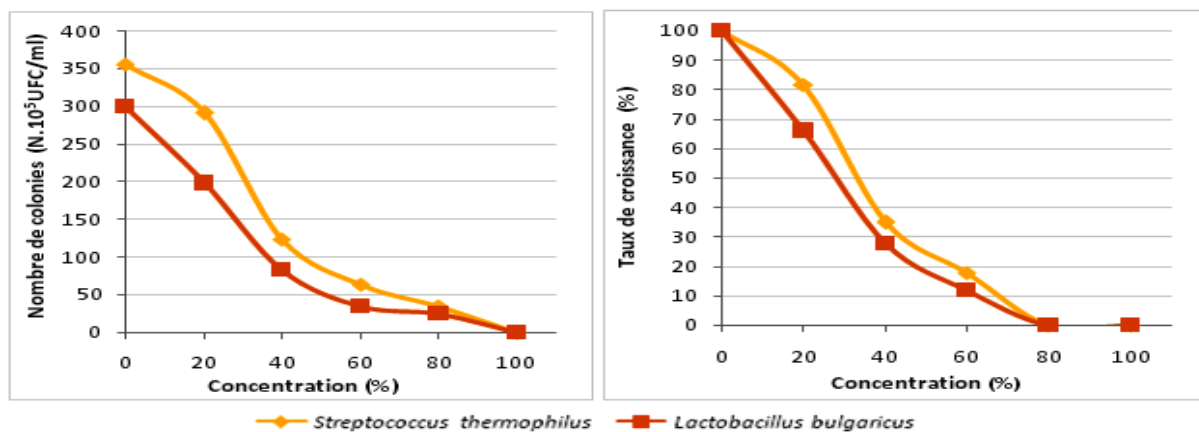


Figure 27. Effets de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. sur la croissance (en UFC/ml) et sur le taux de croissance (en%) des germes spécifiques au yaourt.

1.5.2. Diamètres d'inhibition

Les résultats des diamètres d'inhibition des bactéries de départ du yaourt entraînés par l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. ont eu tendance à augmenter de manière significative (P<0.01) en fonction de l'augmentation de la concentration de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., allant de 7.33, à 8.33, à 10.33 et à 10.67 mm chez les *Streptococcus thermophilus* et de 7.83, à 9.50, à 11.33 et à 17.33 mm chez les *Lactobacillus bulgaricus* pour des concentrations d'extrait variables de 40, à 60, à 80 et à 100%, respectivement, sans toutefois atteindre les diamètres des zones d'inhibition produites par la gentamicine qui s'est démarqué par des diamètres de 21.64 et 33.33 mm chez *Streptococcus* et *Lactobacillus bulgaricus*, respectivement. L'extrait hydrométhanolique pur concentré à 100% a générés les taux

d'inhibition les plus élevés ($p < 0.01$) de 49.24 et 52% pour *S.thermophilus* et *L.bulgaricus*, respectivement par rapport à la gentamycine qui a accusée un taux d'inhibition de 100%, suivi par l'extrait dilué à 80% qui a engendré des taux de 47.67% et 34%, successivement pour les deux germes lactiques étudiés. Cependant, en présence d'une concentration de 20% d'extrait aucune zone d'inhibition n'a été détectée pour les deux germes étudiés (**Tableau 28 ; Figure 28**).

Tableau 28. Effet des concentrations d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. sur les variations des zones et des taux d'inhibition des germes spécifiques du yaourt.

Bactéries lactiques	Paramètres	Concentration d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L.					Genta.	Effet des concentrations de l'extrait
		20%	40%	60%	80%	100%		
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Diamètres d'inhibition (mm)	00 ^d	07.33 ^c ± 00.29	08.33 ^c ± 00.50	10.33 ^b ± 00.58	10.67 ^b ± 00.58	21.67 ^a ± 00.58	$p < 0.01$
	Taux d'inhibition(%)	00 ^e	33.83 ^d	38.44 ^c	47.67 ^b	49.24 ^b	100 ^a	
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Diamètres d'inhibition (mm)	00 ^f	07.83 ^e ± 00.29	09.50 ^d ± 00.50	11.33 ^c ± 00.58	17.33 ^b ± 01.16	33.33 ^a ± 00.57	$p < 0.01$
	Taux d'inhibition(%)	00 ^f	23.50 ^e	28.50 ^d	34 ^c	52 ^b	100 ^a	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes avec un nombre de répétitions $n = 3$; $P < 0.01$ effet hautement significatif du facteur étudié (concentrations en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.); Genta : Gentamycine; a ,b, c... etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls .

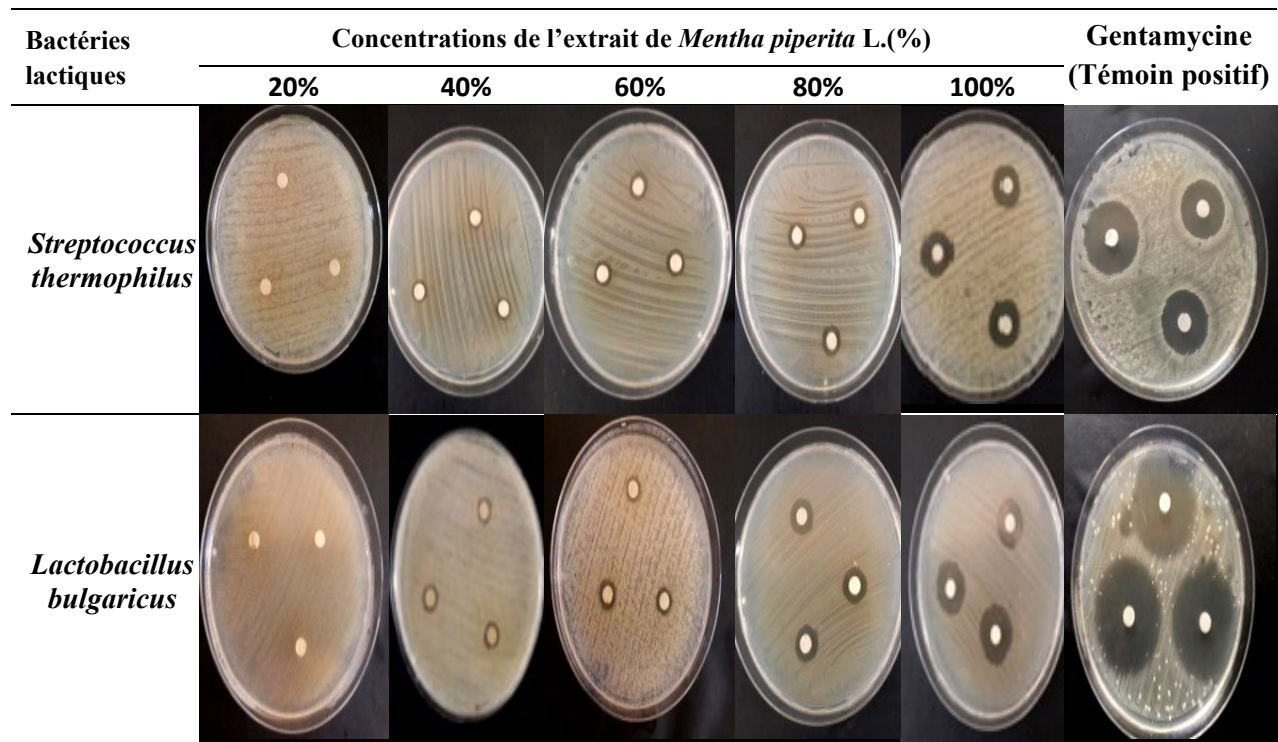


Figure 28. Zones d'inhibition entraînées par les différentes concentrations d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. et de la Gentamycine chez les deux germes spécifiques du yaourt.

1.5.3. Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI)

Des mesures de turbidité induites par la prolifération des bactéries spécifiques dans le yaourt ont été données dans le (Tableau 29). Une concentration de 20% d'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée semble laisser un taux de survie estimé à 30.43% pour les *Streptococcus thermophilus* et 21.66% pour les *Lactobacillus bulgaricus*. Cependant, à partir de 40%, ces taux deviennent nuls pour les deux bactéries qui s'avèrent incapables de survivre après 24 heures d'incubation à la température de 37°C à des concentrations supérieures ou égales. Cette dernière concentration de 40% est retenue comme étant la concentration Minimale Inhibitrice (CMI) pour les deux germes étudiés.

Tableau 29. Evaluation des CMI de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.

Bactéries lactiques	Mesures	Concentrations d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L (%)					
		Témoin (0%)	20%	40%	60%	80%	100%
<i>Streptococcus thermophilus</i>	di (DO)	0.01	00.43	0.50	0.55	0.61	0.40
	df (DO)	0.06	0.44	0.49	0.34	0.45	0.28
	df-di (DO)	0.05	0.03	-0.09	-00.21	-0.15	-0.12
	Df-Di (DO)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	S (%)	100%	30.43%	0%	0%	0%	0%
CMI = 40%							
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	di (DO)	0.04	0.38	0.43	0.52	00.68	0.67
	df (DO)	0.10	0.40	0.42	0.51	0.60	0.58
	df-di (DO)	0.06	0.01	-0.01	-0.01	-0.08	-0.09
	Df-Di (DO)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	S%	100%	21.66%	0%	0%	0%	0%
CMI = 40%							

CMI: concentration Minimale Inhibitrice ; S:Taux de survie du microorganisme en%; df-di: différence de densité optique de la solution d'extrait de Menthe enssemencée au germe étudié avant et après incubation à 37°C durant 24 heures; Df-Di : différence entre les densités optiques avant et après incubation du témoin (0%) sans extrait phénolique et enssemencé au germe étudié.

1.5.4. Concentrations Minimales Bactéricides (CMB)

La croissance en stries sur milieu gélosé MH des germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* cultivés au préalable sur milieu liquide MH pendant 24 heures en présence d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. à différentes concentrations a été comparée par leur développement sur le même milieu mais à des dilutions de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} et 10^{-4} . Cette dernière dilution représente 0.01% de croissance bactérienne.

D'après les résultats illustrés dans la (Figure 29), les concentrations de 60 et 40% d'extrait ont donné des résultats de croissance des germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* identiques à ceux obtenus à la dilution de 10^{-4} ; ces deux concentrations ont été donc retenues comme étant les CMB pour respectivement les bactéries lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*.

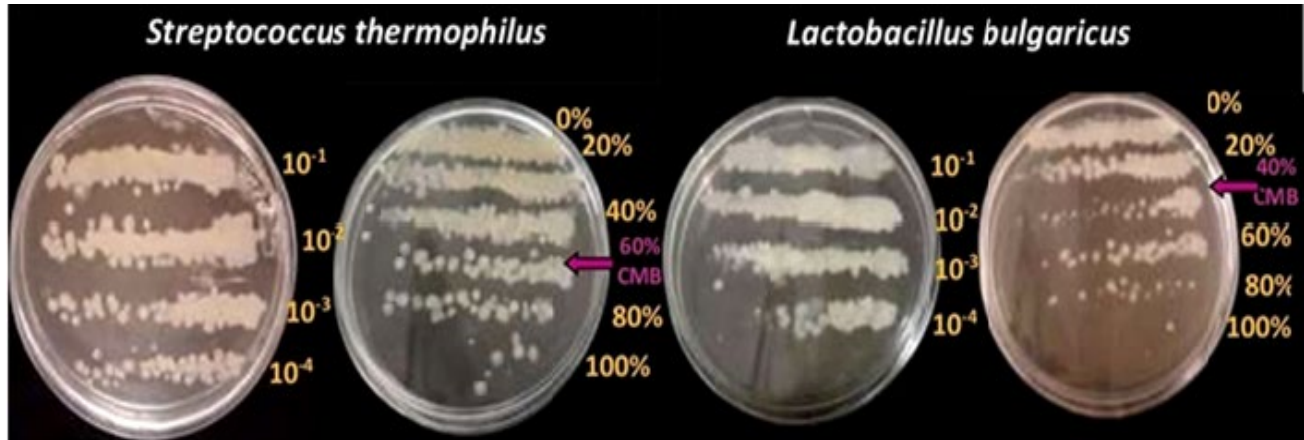


Figure 29. Evaluation des CMB de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.

1.5.5. Types d'inhibition

Le rapport CMB/CMI de 01.5 pour *Streptococcus thermophilus* et de 01 pour *Lactobacillus bulgaricus* permet de conclure que l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. exerce un effet de type bactéricide sur les deux bactéries starters du yaourt (**Tableau 30**).

Tableau 30. Types d'inhibition de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.

Espèces bactériennes	CMI	CMB	CMB /CMI	Effet inhibiteur
<i>Streptococcus thermophilus</i>	40%	60%	1.5	Bactéricide
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	40%	40%	1	Bactéricide
	Normes	<ul style="list-style-type: none"> - CMB/CMI ≤ 2 (effet bactéricide) - CMB/CMI ≥ 2 (effet bactériostatique) 		

1.6. Qualité du yaourt à l'extrait de menthe

1.6.1. Viabilité des bactéries starters du yaourt

Le dénombrement des bactéries de culture du yaourt a montré que le nombre de *S.thermophilus* pour tous les yaourts expérimentaux a augmenté significativement ($p < 0.01$) en fonction du temps, allant de $32 \cdot 10^5$ à $137 \cdot 10^5$ UFC/ml en moyenne au début et jusqu'à la 4^{ème} heure de fermentation et de $228 \cdot 10^5$, à $258 \cdot 10^5$ et à $267 \cdot 10^5$ UFC/ml en moyenne au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de post-acidification, respectivement.

Néanmoins, ce nombre a eu tendance à diminuer significativement ($p < 0.01$) en fonction des doses d'extrait incorporées et variables de 2, à 4 et à 6% ; soit des baisses remarquables respectivement de $165 \cdot 10^5$, à $109 \cdot 10^5$ et à $89 \cdot 10^5$ UFC/ml en fin de la période de fermentation et de $284 \cdot 10^5$, à $277 \cdot 10^5$ et à $170 \cdot 10^5$ UFC/ml au 21^{ème} jour de réfrigération.

Cependant, le nombre le plus élevé de *S.thermophilus* a été atteint par le yaourt nature (contrôle) ; avec un nombre de $186 \cdot 10^5$ UFC/ml après 4 heures de fermentation et de $338 \cdot 10^5$ UFC/ml au 21 jours de post-acidification.

D'une manière similaire aux *S. thermophilus* le nombre de *L.bulgaricus* a également connu une évolution croissante dans tous les produits expérimentaux en fonction du temps passant, respectivement, de $12 \cdot 10^5$ à $79 \cdot 10^5$ UFC/ml en moyennes du début à la fin de la fermentation et de $133 \cdot 10^5$ à $184 \cdot 10^5$ UFC/ml, en moyennes du 7^{ème} au 21^{ème} jour de post acidification. Par ailleurs, tout au long de l'expérimentation, l'analyse de la variance a montré un développement bactérien de *L.bulgaricus* fortement affecté ($p < 0.01$) par les taux d'incorporation d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., variables de 0, à 2, à 4 et à 6% ; avec des diminutions du nombre de colonies allant respectivement de $120 \cdot 10^5$, à $76 \cdot 10^5$, à $67 \cdot 10^5$ et à $51 \cdot 10^5$ UFC/ml à la fin de la phase de fermentation et de $248 \cdot 10^5$, à $224 \cdot 10^5$, à $148 \cdot 10^5$ et à $115 \cdot 10^5$ UFC/ml au 21^{ème} jour de post-acidification (**Tableau 31 ; Figure 30**).

Tableau 31. Evolution du nombre (N 10^5 UFC/ml) de *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* dans les yaourts étuvés additionnés d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., au cours des périodes de fermentation et de post-acidification.

Paramètres	Périodes	Taux d'incorporation (%) d'EHMMP				Moyennes (F1)	Effet F1	Effet F2	Int. F1×F2	
		0%	2%	4%	6%					
<i>S. thermophilus</i>	Fermentation	0h	033 ⁱ	033 ⁱ	032 ⁱ	031 ⁱ	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		2h	55 ^e	052 ^e	045 ^g	041 ^h				048 ^b
		4h	186 ^a	165 ^b	109 ^c	089 ^d				137 ^a
	Moyennes (F2)	091 ^a	083 ^b	062 ^c	054 ^d	-				
	Post acidification	7J	320 ^c	246 ^g	228 ^h	119 ^k	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		14J	330 ^b	275 ^e	264 ^f	162 ^j				258 ^b
21J		338 ^a	284 ^d	277 ^e	170 ⁱ	267 ^a				
Moyennes (F2)	329 ^a	268 ^b	256 ^c	150 ^d	-					
<i>L. bulgaricus</i>	Fermentation	0h	014 ^g	013 ^g	011 ^h	011 ^h	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		2h	020 ^e	021 ^e	016 ^f	018 ^e				019 ^b
		4h	120 ^a	076 ^b	067 ^c	051 ^d				079 ^a
	Moyennes (F2)	051 ^a	037 ^b	032 ^c	027 ^d	-				
	Post acidification	7J	196 ^e	126 ⁱ	130 ^h	080 ^l	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		14J	245 ^b	219 ^d	141 ^g	111 ^k				179 ^b
21J		248 ^a	224 ^c	148 ^f	115 ^j	184 ^a				
Moyennes (F2)	230 ^a	190 ^b	140 ^c	102 ^d	-					

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes, avec un nombre de répétitions n=03; EHMMP : extrait hydrométhanolique de *Mentha* L. ; h : heures; J : jour ; N : nombre de colonies; UFC : unité formant colonie ; ml : millilitre ; F1 : facteur périodes ; F2 : facteur concen d'extrait incorporées ; F1×F2 : interaction des deux facteur(périodes et concentrations d'extrait ; p< 0.01 : effet hautement significatif du étudié; *S. thermophilus*: *Streptococcus thermophilus* ; *L. bulgaricus* : *Lactobacillus bulgaricus* ; a,b,c...etc.: groupes homogènes de compara moyennes deux à deux selon le test de Newman- Keuls.

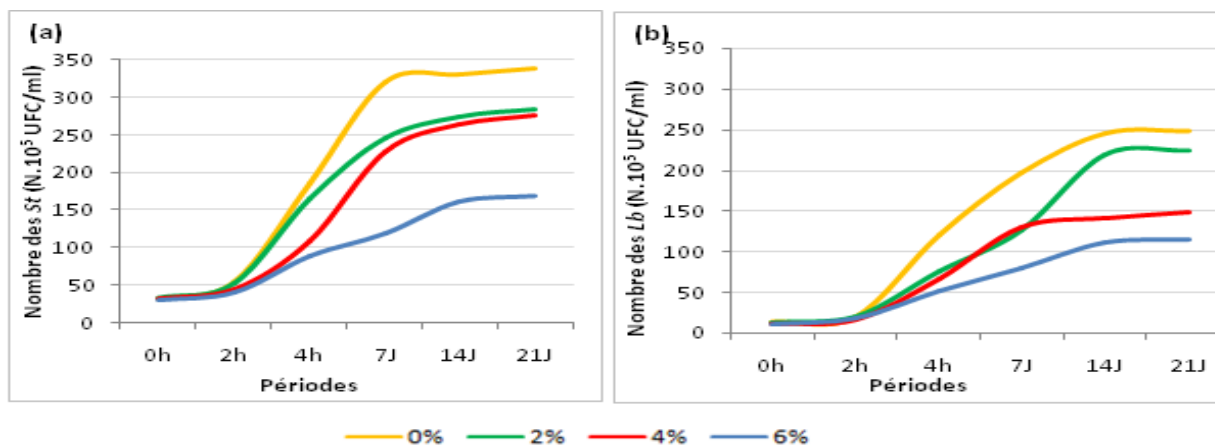


Figure 30. Evolution du nombre ($N 10^5$ UFC) des bactéries spécifiques du yaourt dans les yaourts enrichis en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et post acidification. (a) : *Steptococcus thermophilus* (*St*), (b) : *Lactobacillus bulgaricus* (*Lb*).

1.6.2. Qualité physicochimique

D'une manière générale et du début jusqu'à la fin de l'expérimentation les résultats de mesure du pH de tous les échantillons du yaourt ont révélé des valeurs décroissantes en fonction du temps allant de 6.43, à 5.45, à 4.87, à 4.72, à 4.62 et à 4.55 en moyennes du début de la fermentation et jusqu'au 21 jours de post-acidification. Cependant, l'analyse de variance a dévoilé un accroissement hautement significative ($p < 0.01$) des valeurs de pH proportionnellement aux doses d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. additionnés et variables de 0, à 2, à 4 et à 6% ; avec des valeurs qui ont passé respectivement de 4.58, à 4.78, à 4.83 et à 5.29 après 4 heures de fermentation et de 4.21 à 4.55, à 4.64 et à 4.79 en moyenne au 21^{ème} jour de la période de post-acidification.

Contrairement au pH, l'acidité semble évoluer significativement ($p < 0.01$) et proportionnellement au temps, en affichant des valeurs Dornic moyennes qui ont varié respectivement de 18.33, à 35.33 et à 75.24 °D en moyennes au début, après 2 heures et après 4 heures de fermentation, et de 77.51, à 80.53 et à 85.91 °D en moyenne successivement au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jours de la période de post acidification de conservation des yaourts au froid positif. Toutefois, ce paramètre physicochimique semble avoir tendance à diminuer significativement ($p < 0.01$) pour des concentrations croissantes d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. incorporé dans le yaourt. En effet, pour des doses d'extrait variables de 0, à 2, à 4 et à 6% l'acidité Dornic mesurée a affiché des valeurs allant, respectivement, de 80.33, à 76.42, 74.66 et à 69.55 °D au terme de la fermentation et de 98.50, à 86.33, à 77.95 et à 72.85 °D, au 21^{ème} jour d'entreposage des produits au froid positif (à 6°C).

Comme pour l'acidité Dornic, la viscosité de tous les échantillons de yaourt expérimentaux s'avère significativement ($p < 0.01$) augmenté en fonction du temps durant les deux périodes expérimentales. Ainsi, des augmentations visibles de la viscosité des produits expérimentaux de 0.86, à 14.13 et à 36.47 m²/s en moyenne et de 47.59, à 50.65 et à 54.38 m²/s en moyenne ont été enregistrées respectivement au début, après 2 heures et 4 heures de fermentation et au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de la période de post acidification. Néanmoins, il semble que cette viscosité a une

tendance à diminuer ($p < 0.01$) proportionnellement à la dose croissante de 0, à 2, à 4 et à 6% d'extrait additionné au yaourt ; soit des valeurs qui ont varié respectivement de 52.33 , à 42.95, à 32.47 et à 18.12 m²/s, après 4^{ème} heure de fermentation et de 85.30 , à 70.27 , à 40.78 et à 21.16 m²/s après 21 jours de conservation au froid (**Tableau 32 ; Figures 31**).

Tableau 32. Effet de l'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. à différentes concentrations sur les variations du pH, d'acidité (°D) et de la viscosité (m²/s) du yaourt étuvé.

Paramètres	Périodes		Taux d'incorporation (%) d' <i>EHMMP</i> de <i>Mentha Piperita</i> L.				Moyennes ± ES	Effet F1	Effet F2	Int. F1×F2	
			0%	2%	4%	6%					
pH	Fermentation	0h	06.43 ^a ± 0.01	06.44 ^a ± 0.01	06.42 ^a ± 0.03	06.43 ^a ± 0.02	06.43^a ± 0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		2h	05.22 ^a ± 0.05	05.40 ^d ± 0.01	05.49 ^c ± 0.01	05.67 ^b ± 0.00	05.45^b ± 0.02				
		4h	04.58 ⁱ ± 0.01	04.78 ^h ± 0.03	04.83 ^g ± 0.01	05.29 ^e ± 0.01	04.87^c ± 0.03				
		Moyennes ± ES(F2)	05.41^d ± 0.04	05.54^c ± 0.01	05.58^b ± 0.01	05.80^a ± 0.01	-				
		Post acidification	7J	04.52 ^e ± 0.02	04.68 ^d ± 0.01	04.78 ^b ± 0.02	04.89 ^a ± 0.01	04.72^b ± 0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	14J		04.38 ^f ± 0.02	04.56 ^e ± 0.07	04.73 ^c ± 0.02	04.82 ^b ± 0.02	04.62^a ± 0.04				
21J	04.21 ^g ± 0.01		04.55 ^e ± 0.01	04.64 ^d ± 0.03	04.79 ^b ± 0.02	04.55^c ± 0.01					
		Moyennes ± ES(F2)	04.37^d ± 0.02	04.60^c ± 0.04	04.72^b ± 0.01	04.83^a ± 0.01	-				
Acidité (°D)	Fermentation	0h	18.33 ^j ± 0.01	18.34 ⁱ ± 0.03	18.33 ⁱ ± 0.03	18.33 ⁱ ± 0.03	18.33^c ± 0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		2h	39.33 ^e ± 0.07	36.33 ^f ± 0.04	33.65 ^g ± 0.01	32.01 ^h ± 0.01	35.33^b ± 0.02				
		4h	80.33 ^a ± 0.03	76.42 ^b ± 0.01	74.66 ^c ± 0.01	69.55 ^d ± 0.00	75.24^a ± 0.01				
		Moyennes ± ES(F2)	46.00^a ± 0.04	43.70^b ± 0.02	42.21^c ± 0.01	39.97^d ± 0.00	-				
		Post acidification	7J	85.33 ^d ± 0.14	78.66 ^f ± 0.01	76.33 ⁱ ± 0.00	69.75 ^l ± 0.00	77.51^c ± 0.06	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	14J		90.45 ^b ± 0.02	83.66 ^e ± 0.03	77.33 ^h ± 0.04	70.66 ^k ± 0.01	80.53^b ± 0.02				
21J	98.50 ^a ± 0.03		86.33 ^c ± 0.01	77.95 ^g ± 0.04	72.85 ^j ± 0.00	85.91^a ± 0.01					
		Moyennes ± ES(F2)	91.42^a ± 0.02	82.89^b ± 0.01	44.20^c ± 0.03	71.90^d ± 0.03	-				
Viscosité (m ² /s)	Fermentation	0h	00.89 ⁱ ± 0.01	00.88 ⁱ ± 0.01	00.86 ⁱ ± 0.01	00.83 ⁱ ± 0.03	00.86^c ± 0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01	
		2h	20.07 ^d ± 0.20	16.04 ^f ± 0.02	12.79 ^g ± 0.01	07.61 ^h ± 0.00	14.13^b ± 00.01				
		4h	52.33 ^a ± 0.20	42.95 ^b ± 0.20	32.47 ^c ± 0.03	18.12 ^e ± 0.00	36.47^a ± 0.11				
		Moyennes ± ES(F2)	24.43^a ± 0.11	19.96^b ± 0.010	15.37^c ± 0.01	08.86^d ± 00.00	-				
		Post acidification	7J	72.06 ^c ± 0.18	57.00 ^f ± 0.15	38.77 ^h ± 0.01	22.55 ^j ± 0.00	47.59^c ± 0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	14J		80.65 ^b ± 0.01	66.34 ^e ± 0.01	36.22 ⁱ ± 0.01	19.38 ^l ± 0.00	50.65^b ± 0.01				
21J	85.30 ^a ± 0.17		70.27 ^d ± 0.02	40.78 ^g ± 0.04	21.16 ^k ± 0.00	54.38^a ± 0.08					
		Moyennes ± ES(F2)	79.34^a ± 0.12	64.53^b ± 0.08	38.59^b ± 0.02	21.03^d ± 0.00	-				

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03; *EHMMP*: extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.; h:heures; J:jour; N: nombre de colonies; F1 :facteur période; F2 : facteur concentration d'extrait incorporée; F1×F2 : interaction des deux facteur(période et concentration d'extrait). Tous les facteurs étudiés (F1 ;F2 et F1×F2) présentent un effet hautement significatif($p < 0.01$); a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls .

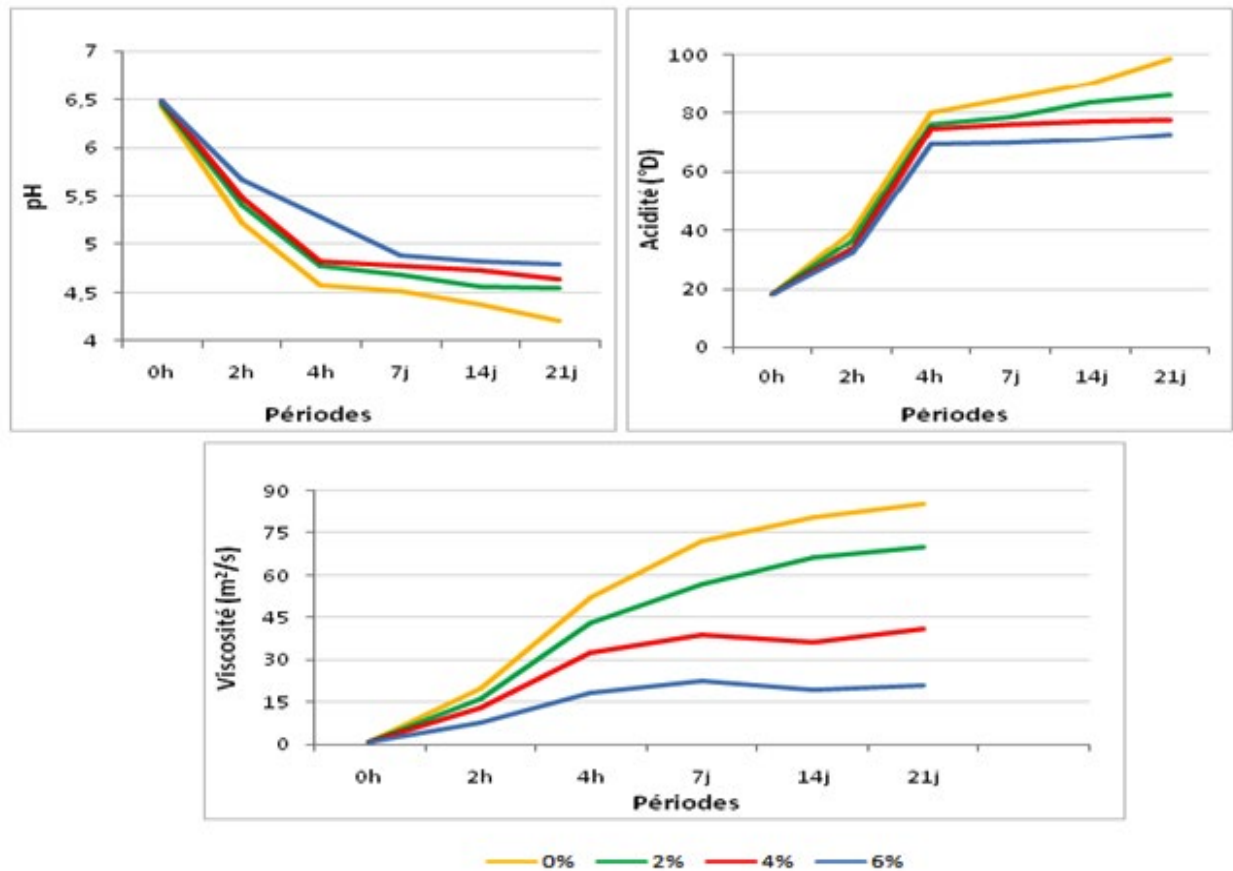


Figure 31. Evolution des paramètres physicochimiques des yaourts enrichis en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.

1.6.3. Qualité organoleptique

Compte tenu de l'appréciation enregistrée par le jury de dégustation impliqué dans la présente étude, l'analyse statistique a révélé que le taux d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. additionné au yaourt avait un effet hautement significatif ($P < 0.01$) sur tous les paramètres organoleptiques examinés (**Tableau 33 ; Figure 32**).

Globalement, durant toute la période de post-acidification, le goût acide estimé par les dégustateurs semble être de moins en moins prononcé ($P < 0.01$) pour des taux croissants de 2, à 4 et à 6% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* incorporé dans les yaourts expérimentaux par rapport au yaourt nature (0% d'extrait). Cependant, au 1^{er}, 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jours de stockage le yaourt préparé à la dose de 2% d'extrait a été apprécié de presque comparable au témoin par le jury de dégustation ; 19, 18, 17 et 18 somme des rangs contre 14 ; 14 ; 14 et 14.5 somme des rangs, respectivement. Tandis que pour des doses de 4 et 6% d'extrait les yaourts ont été de faibles acidités et classés en dernières positions par les dégustateurs.

A l'instar du goût acide, la perception du goût de fraîcheur a permis aux panélistes de classer le yaourt enrichi à 2% d'extrait en second rang après le témoin avec des scores très rapprochés l'un de l'autre. En effet, au 1^{er}, 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jours de stockage le yaourt à 2% d'extrait a été noté avec une somme des rangs de 20.5, 18.5, 19.5 et 18 contre respectivement 14.5, 14.5, 16 et 16 somme des rangs pour le témoin. Alors que les préparations contenant 4 et 6% d'extrait viennent respectivement en 3^{ème} et dernière position.

De la même manière que les deux paramètres gustatifs précédents, le yaourt supplémenté à 2% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. a été très bien apprécié au plan de l'arrière-goût par le jury de dégustation qui l'a classé en seconde position juste après le témoin. En effet, le yaourt à 2% d'extrait a affiché des scores de 18.5 sommes des rangs au 1^{er} et 21^{ème} jour et de 17.5 somme des rangs au 7^{ème} et 14^{ème} et il a été classé par degré de préférence à ce critère après le témoin qui a marqué de meilleurs scores variables entre 15 et 15.5 somme des rangs du 1^{er} au 21^{ème} jour de conservation au froid positif. En revanche, durant toute l'expérimentation, les yaourts supplémentés d'extrait de menthe à 4 et 6 % ont été classés, respectivement, en 3^{ème} et dernière position par les panélistes qui ont constaté une nette apparition d'une sensation d'arrière-goût très prononcé dans les produits enrichis d'extrait de *Mentha piperita* L., particulièrement à de fortes doses.

En ce qui concerne l'adhésivité, les yaourts à 4 et 6% d'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée ont occupé encore successivement la 3^{ème} et 4^{ème} position après le yaourt supplémenté à 2% d'extrait qui a remporté la seconde place avec des scores très proches du témoin ($p > 0.05$); 20 vs 15.5 somme des rangs au 1^{er} jour; 18 vs 15 somme des rangs au 7^{ème} jour; 18 vs 15.5 somme des rangs au 14^{ème} jour et 17 vs 15.5 somme des rangs au 21^{ème} jour, respectivement.

Pour le critère cohésivité, le yaourt conçu à 2% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. a présenté à nouveau au 1^{er}, 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de conservation des scores comparables au témoin ($p > 0.05$); 19 vs 15, 20.5 vs 14, 18.5 vs 15.5 et 18 vs 14.5 somme des rangs, respectivement. Cependant, une nette détérioration de la cohésivité a été ressentie par les panélistes dans les produits additionnés d'extrait de menthe à des doses sévères de 4 et 6% qui ont accusé par voie de conséquence de médiocres ($p < 0.01$) scores variables de 27 à 40 somme des rangs.

A la différence des critères organoleptiques décrits ci-dessus, le yaourt supplémenté avec 4% d'extrait a battu tous les scores pour son critère " odeur ", en enregistrant pendant les 21 jours de post-acidification de meilleurs résultats ($p < 0.01$); 14 à 15 somme des rangs. Le yaourt supplémenté à 2% d'extrait est arrivé en seconde position avec des scores d'odorat qui ont varié durant cette période d'entreposage au froid entre 18 et 19 somme des rangs. Le témoin à son tour a occupé la troisième position ; 27 à 40 somme des rangs. Tandis que le yaourt à 6% d'extrait a été le moins accepté ($p < 0.01$) par les dégustateurs avec des scores variables de 38.5 à 40 somme des rangs.

Quant à la couleur, pendant toute la période de stockage, les médiocres résultats par comparaison au témoin ont été remarqués par les panélistes ayant dégusté les yaourts préparés à 4 et 6% d'extrait ($p < 0.01$); 13.5 vs 29.5 vs 37.5 somme des rangs au 1^{er} jour, 17 vs 28.5 vs 39 somme des rangs au 7^{ème} jour, 19.5 vs 26.5 vs 40 somme des rangs au 14^{ème} jour et 20 vs 27.5 vs 39 somme des rangs au 21^{ème} jour d'entreposage. Néanmoins, le yaourt enrichi à 2% d'extrait a été le mieux

apprécié par le jury sensoriel au plan de la couleur que le témoin particulièrement au 14^{ème} et 21^{ème} jours de post acidification ($p < 0.01$); 14 vs 19.5 et 13.5 vs 20 somme des rangs, respectivement (**Tableau 33 ; Figure 32**).

Tableau 33. Effet de l'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. à différentes doses sur la qualité sensorielles d'un yaourt étuvé.

Paramètres étudiés	Période	Doses d'extrait hydrométhanolique de <i>Mentha piperita</i> L. incorporées				Effet de l'extrait
		0%	2%	4%	6%	
Gout acide	J1	14 ^c	19 ^c	27.5 ^b	39 ^a	$p < 0.01$
	J7	14 ^c	18 ^b	33 ^a	36 ^a	$p < 0.01$
	J14	14 ^b	17 ^b	32.5 ^a	37 ^a	$p < 0.01$
	J21	14.5 ^d	18 ^c	29.5 ^b	38.5 ^a	$p < 0.01$
Gout de fraîcheur	J1	14.5 ^c	20.5 ^c	36.5 ^b	38.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	14.5 ^b	18.5 ^b	27.5 ^a	39.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	16 ^c	19.5 ^c	26 ^b	38.5 ^a	$p < 0.01$
	J21	16 ^c	18 ^c	27 ^b	39 ^a	$p < 0.01$
Arrière gout	J1	15.5 ^c	18.5 ^c	27.5 ^b	39.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	15.5 ^c	17.5 ^c	27.5 ^b	39.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	15 ^c	17.5 ^c	28.5 ^b	39 ^a	$p < 0.01$
	J21	15.5 ^c	18.5 ^c	29.5 ^b	38 ^a	$p < 0.01$
Adhésivité	J1	15.5 ^d	20 ^c	26.5 ^b	40 ^a	$p < 0.01$
	J7	15 ^c	18 ^c	33.5 ^b	39.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	15.5 ^c	18 ^c	28.5 ^b	39 ^a	$p < 0.01$
	J21	15.5 ^c	17 ^c	28.5 ^b	39 ^a	$p < 0.01$
Cohésivité	J1	15 ^c	19 ^c	28 ^b	38 ^a	$p < 0.01$
	J7	14 ^d	20.5 ^c	28 ^b	38.5 ^a	$p < 0.01$
	J14	15.5 ^c	18.5 ^c	27 ^b	40 ^a	$p < 0.01$
	J21	14.5 ^c	18 ^c	29 ^b	38.5 ^a	$p < 0.01$
Odeur	J1	29 ^b	18.5 ^c	15 ^c	38.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	27 ^b	18 ^c	15 ^c	40 ^a	$p < 0.01$
	J14	29 ^b	18.5 ^c	14 ^c	38.5 ^a	$p < 0.01$
	J21	40 ^a	19 ^b	15 ^c	40 ^a	$p < 0.01$
Couleur	J1	13.5 ^d	19.5 ^c	29.5 ^b	37.5 ^a	$p < 0.01$
	J7	17 ^c	16.5 ^c	28.5 ^b	39 ^a	$p < 0.01$
	J14	19.5 ^c	14 ^d	26.5 ^b	40 ^a	$p < 0.01$
	J21	20 ^c	13.5 ^d	27.5 ^b	39 ^a	$p < 0.01$

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs, avec un nombre de panélistes $n=10$; J:jours ; $P > 0.05$ effet non significatif du facteur étudié (taux d'extrait incorporés dans le yaourt); $p < 0.01$: effet hautement significatif du facteur étudié ;a,b,c,d,e...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Fridmen .

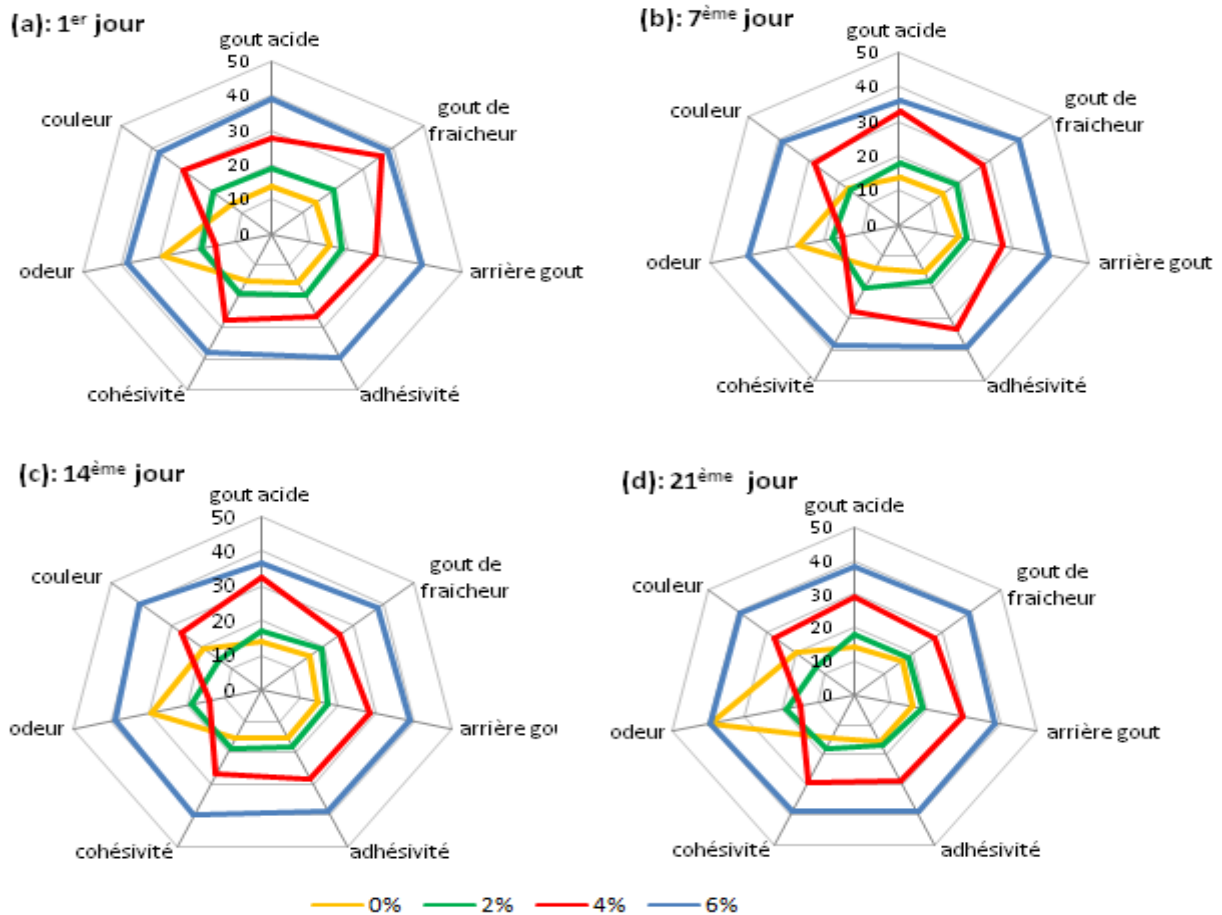


Figure 32. Effet d'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. sur la qualité organoleptique d'un yaourt étuvé au cours de 21 jours de stockage au froid positif de 6°C.

1.6.4. Caractéristiques oxydatives des yaourts

Les yaourts expérimentaux s'avèrent perdre progressivement leur capacité à piéger le radical proportionnellement au temps de stockage en affichant des pourcentages d'inhibition moyens qui ont diminué de 53.01% à 49.45% et à 42.17%, respectivement du 1^{er}, au 10^{ème} et au 20^{ème} jour d'entreposage au froid (6°C).

Cependant, tout au long de la période de réfrigération (20 jours) le pouvoir de piégeage du radical DPPH a montré des accroissements proportionnels et significatives ($p < 0.01$) en fonction de l'augmentation des taux d'incorporation de 0, à 2, à 4 et à 6% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., dans le yaourt ; soit des valeurs qui ont varié, respectivement, de 19.36, à 59.15 à 64.04 et à 69.49% au 1^{er} jour de stockage, de 15.65, à 56.67, à 60.19 et à 65.29% au 10^{ème} jour et de 9.58, à 50.71, à 52.01 et à 56.38% au 20^{ème} jour d'entreposage.

Les résultats du test à l'ABTS ont également montré une diminution significative ($p < 0.01$) de 53.54 à 29.59% du potentiel de piégeage de ce radical en fonction de la durée de stockage pour tous les produits élaborés avec ou sans addition d'extrait.

Toutefois, durant toute la période de conservation (20 jours) au froid, l'analyse de la variance a montré une amélioration considérable ($p < 0.01$) du pourcentage d'inhibition de l'ABTS par l'ajout de 0 à 6% de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. dans le yaourt; soit des valeurs qui ont rehaussé de 15.34 à 56.22%, en moyenne (**Tableau 34 ; Figure 33**).

Le degré de peroxydation lipidique des yaourts additionnés ou non d'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée semble augmenter proportionnellement de 0.52 à 1.99 mg MDA/kg du début à la fin d'entreposage au réfrigérateur réglé à 6°C pendant 21 jours. Apparemment, l'ajout d'extrait de menthe à 2, 4 et 6% s'avère réduire significativement ($p < 0.01$) ce phénomène dans les produits de 26.32, 41.23 et 57.02 %, respectivement (**Tableau 34 ; Figure 34**).

Tableau 34. Evolution du potentiel antioxydant (% d'inhibition des radicaux DPPH & ABTS) et du taux de peroxydation des lipides TBARS (mg MDA/kg) des yaourts.

Période	Taux d'incorporation (%) d'extrait de <i>Mentha Piperita</i> L. (Moyennes ± ES de l'Int. F1XF2)				Moyennes ± ES (F1)	
	0%	2%	4%	6%		
DPPH	J1	19.36 ⁱ ± 0.66	59.15 ^c ± 0.64	64.04 ^e ± 0.12	69.49 ^a ± 0.48	53.01^a ± 0.44
	J10	15.65 ^j ± 0.32	56.67 ^f ± 0.55	60.19 ^d ± 0.27	65.29 ^b ± 0.68	49.45^b ± 0.42
	J20	09.58 ^k ± 0.39	50.71 ^h ± 1.26	52.01 ^g ± 0.19	56.38 ^f ± 0.15	42.17^c ± 0.57
Moyennes ± ES (F2)	14.86^d ± 0.42	55.51^c ± 0.76	58.75^b ± 0.18	63.72^a ± 0.42	-	
ABTS	J1	17.38 ⁱ ± 0.33	39.13 ^e ± 0.13	77.79 ^b ± 0.46	79.86 ^a ± 1.18	53.54^a ± 0.56
	J10	15.67 ^j ± 0.37	32.01 ^g ± 0.45	44.37 ^c ± 1.94	50.09 ^c ± 0.14	35.53^b ± 0.87
	J20	12.98 ^k ± 0.42	30.67 ^h ± 0.69	36.02 ^f ± 0.22	38.70 ^c ± 0.71	29.59^c ± 0.47
Moyennes ± ES (F2)	15.34^d ± 0.32	33.94^c ± 0.42	52.73^b ± 1.00	56.22^a ± 0.69	-	
TBARS	J1	0.78 ^e ± 0.05	0.55 ^g ± 0.03	0.43 ^h ± 0.02	0.30 ⁱ ± 0.00	0.52^c ± 0.03
	J10	1.11 ^c ± 0.01	0.62 ^f ± 0.02	0.51 ^g ± 0.03	0.41 ^h ± 0.03	0.66^b ± 0.02
	J20	1.52 ^a ± 0.07	1.36 ^b ± 0.01	1.08 ^c ± 0.04	0.78 ^d ± 0.04	1.19^a ± 0.04
Moyennes ± ES (F2)	1.14^a ± 0.04	0.84^b ± 0.02	0.67^c ± 0.03	0.49^d ± 0.03	-	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03 ; ES : Erreurs standards ; J: jours; F1 : facteur périodes ; F2 : facteur concentrations d'extrait incorporées ; Int. F1×F2 : interaction des deux facteurs (Périodes et Concentrations de l'extrait) ; a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls .

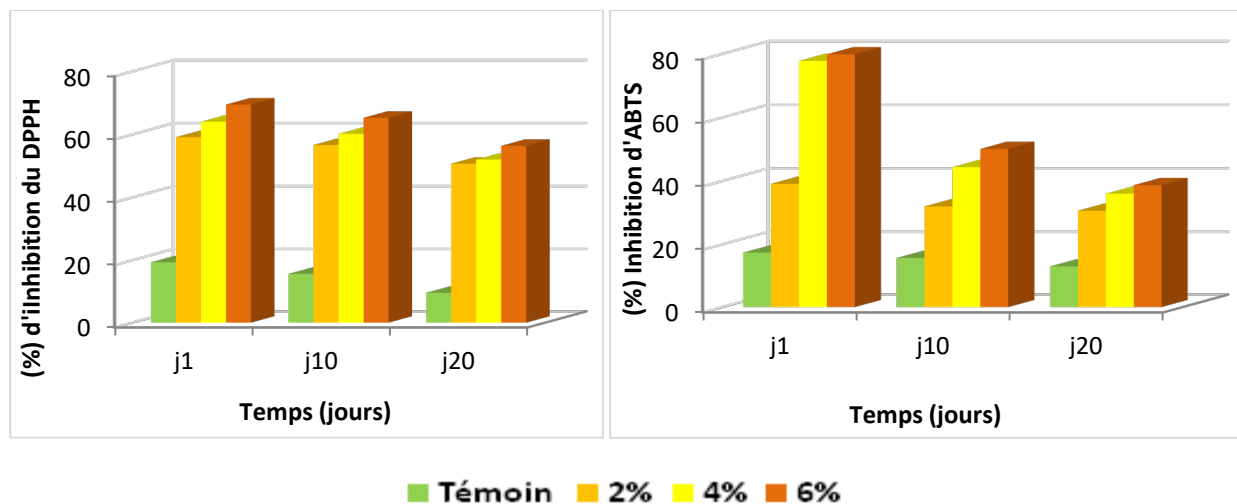


Figure 33. Evaluation du potentiel antioxydant dans les yaourts enrichis d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., au cours de 20 jours de réfrigération.

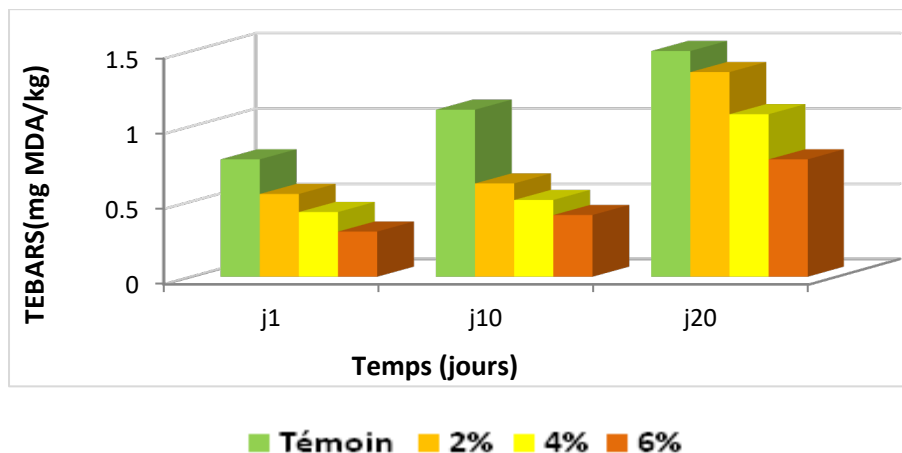


Figure 34. Evaluation par le test de TBARS du degré de peroxydation (mgMDA/kg) des lipides des yaourts enrichis en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., au cours de 20 jours de réfrigération.

1.6.5. Profil lipidiques des yaourts expérimentaux

Pendant toute la période de stockage, les yaourts expérimentaux ont présenté des teneurs en matières grasses totales comparables ($p > 0.05$) avec de légères fluctuations comprises entre 1.82 et 1.84%. Les acides gras les plus abondants exprimés en pourcentage des lipides totaux (LT) dans les yaourts analysés sont l'acide myristique (C14:0) (11.88 à 12.73% LT), l'acide palmitique (C16:0) (35.08 à 36.84% LT) et l'acide stéarique (C18:0) (8.99 à 9.42% LT). Les taux de ces acides gras n'ont pas été significativement influencés ($p > 0.5$) ni par le temps de stockage ni par l'ajout de l'extrait ($p > 0.5$).

L'acide oléique (C18:1n9) figure aussi parmi les acides gras majoritaire dans les yaourts expérimentaux avec des teneurs variable de 21.34 à 24.32% des lipides totaux. L'ajout d'extrait de menthe au yaourt à 4% semble préservé au 21^{ème} jour de stockage la même quantité ($p > 0.05$).

en cet acide gras que le témoin (23.55 vs 24.32 % LT) malgré les différences ($p < 0.1$) constatées au 1^{er} jour de stockage (21.34 vs 24.17% LT).

La supplémentation à 4% des yaourts en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., s'avère améliorer au 21^{ème} jour d'entreposage par rapport au témoin dans une certaine mesure très significativement ($p < 0.01$) le contenu en certains acides gras essentiels dont l'acide linoléique (C18:2n6c) d'environ 9.22% et l'acide α linoléique (C18:3n3) d'environ 15.55%. Au contraire, l'ajout de l'extrait hydroéthanolique de la plante a induit au 21^{ème} jour de stockage de nettes diminutions ($p < 0.01$) des teneurs en acide cis-11,14,17-eicosatriénoïque (C20:3n3) et en acide cis-8,11,14-eicosatriénoïque (C20:3n6) ; soit des baisses d'environ 25 et 14.29 % respectivement par rapport au témoin. De même, au 21^{ème} jour de la période de post acidification, les teneurs en acides gras à chaînes courtes dont l'acide butyrique (C4:0), l'acide caproïque (C6:0) et l'acide caprylique (C8:0) ont diminué dans les yaourts enrichis en extrait de la menthe poivrée de 0.27, 0.06 et 0.02 des lipides totaux, respectivement comparativement au témoin. Tandis que celles des acides à chaînes moyennes tels que l'acide caprique (C10:0), l'acide undécanoïque (C11:0) et l'acide laurique (C12:0) ont augmenté relativement de 0.01 à 0.09% des lipides totaux, successivement.

En outre, au 1^{er} jour de stockage au froid positif (6°C), l'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. semble réduire totalement et significativement ($P < 0.01$) les teneurs en acide arachidique (C20:0), acide cis-11,14-ecosadiénoïque (C20:2), acide béhénique (C22:0) et en acide lignocérique (C24:0). Tandis qu'après 20 jours de stockage, la teneur en acide arachidique (C20:0) s'est avérée augmenter remarquablement pour dépasser même celle du témoin d'environ 12.03% du contenu du yaourt en cet acide ; alors que les teneurs en acide béhénique (C22:0) et en acide lignocérique (C24:0) ont enregistré des taux (00.066 vs 0.043% LT) relativement inférieure ($p < 0.01$) à celle du témoin d'environ 13.17 vs 49.41% du contenu lipidique du yaourt en ces acides gras. De plus, durant cette période la fraction lipidique des yaourts expérimentaux ne semble pas contenir d'acide cis-11,14-ecosadiénoïque (C20:2).

Par ailleurs, au 1^{er} jour de stockage les yaourts additionnés d'extrait de menthe ont accusé un taux d'AGI (28.51% LT) moins élevé ($p < 0.01$) que le témoin (31.53% LT) ; alors qu'en fin de la conservation au 20^{ème} jour le niveau d'AGI semble devenir comparable entre les deux produits (30.98 vs 31.66 % LT).

Concernant, le contenu global des yaourts en acides gras saturés (AGS), les teneurs enregistrées n'ont pas été significativement influencé ($p > 0.05$) par l'ajout de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. Contrairement au premier jour de stockage, l'ajout d'extrait de menthe a significativement ($p < 0.01$) amélioré de 7.5 % la teneur totale en oméga 6 dans le yaourt expérimental en fin de la conservation au 20^{ème} jour.

Quant aux oméga 3 (ω -3), des augmentations significativement ($p < 0.01$) de 11.83% et 6% dans les yaourts supplémentés en extrait par rapport au yaourt snature respectivement ont été enregistrées au 1^{er} et 20^{ème} jour. Ces résultats se sont traduits au 1^{er} jour de post acidification par un rapport ω -6/ ω -3 significativement ($p < 0.01$) plus réduit dans le yaourt à l'extrait de la plante étudiée (05.71% LT) que le témoin (6.76% LT) et des rapports comparables en fin de conservation (5.26 vs 5.21% LT) (**Tableau 35**).

Tableau 35. Profil en acides gras des yaourts expérimentaux (en % des lipides totaux).

Périodes Acides gras	1 ^{er} Jour		20 ^{ème} Jour		Effet d'EHMMP
	0% EHMMP (Témoin)	4% EHMMP	0% EHMMP (Témoin)	4% EHMMP	
Total des lipides (g/100g)	01.843 ± 0.09	01.844 ± 0.06	01.822 ± 0.03	01.831 ± 0.05	p>0.05
C4:0	01.485 ^b ± 0.07	01.595 ^a ± 0.02	01.644 ^a ± 0.03	01.377 ^c ± 0.03	P<0.01
C6:0	01.286 ^b ± 0.06	01.414 ^a ± 0.02	01.329 ^b ± 0.02	01.268 ^b ± 0.03	P<0.01
C8:0	00.980 ^b ± 0.05	01.076 ^a ± 0.01	01.003 ^b ± 0.02	00.987 ^b ± 0.02	P<0.05
C10:0	02.556 ^b ± 0.13	02.812 ^a ± 0.03	02.576 ^b ± 0.04	02.585 ^b ± 0.05	P<0.01
C11:0	00.050 ^a ± 0.00	00.033 ^c ± 0.00	00.040 ^b ± 0.00	00.050 ^a ± 0.00	P<0.01
C12:0	03.354 ^b ± 0.17	03.636 ^a ± 0.04	03.319 ^b ± 0.05	03.402 ^b ± 0.07	P<0.05
C13:0	00.091 ^c ± 0.01	00.124 ^a ± 0.00	00.100 ^b ± 0.00	00.104 ^b ± 0.00	P<0.01
C14:0	12.042 ± 0.60	012.732 ± 0.13	11.882 ± 0.19	12.096 ± 0.25	p>0.05
C14:1	00.641 ± 0.03	00.585 ± 0.01	00.622 ± 0.01	00.625 ± 0.01	p>0.05
C15:0	01.321 ± 0.07	01.325 ± 0.01	01.304 ± 0.02	01.339 ± 0.03	p>0.05
C16:0	35.249 ± 1.75	36.840 ± 0.38	35.075 ± 0.57	35.564 ± 0.75	p>0.05
C16:1	02.173 ± 0.11	02.284 ± 0.02	02.266 ± 0.04	02.300 ± 0.06	p>0.05
C17:0	00.666 ^a ± 0.03	00.622 ^b ± 0.01	00.632 ^{ab} ± 0.01	00.554 ^c ± 0.01	P<0.01
C18:0	08.994 ± 0.45	09.291 ± 0.10	09.140 ± 0.15	09.424 ± 0.20	p>0.05
C18:1n9	24.173 ^a ± 1.20	21.335 ^b ± 0.22	24.317 ^a ± 0.40	23.552 ^a ± 0.49	P<0.01
C18:2n6	02.766 ^b ± 0.14	02.595 ^c ± 0.03	02.816 ^b ± 0.05	03.082 ^a ± 0.07	P<0.01
C20:0	00.131 ^b ± 0.01	00 ^c	00.133 ^b ± 0.00	00.149 ^b ± 0.00	P<0.01
C18:3n3	00.338 ^d ± 0.02	00.401 ^c ± 0.00	00.448 ^b ± 0.01	00.515 ^a ± 0.01	P<0.01
C20:1n9	01.148 ^a ± 0.06	01.075 ^b ± 0.01	00.941 ^c ± 0.02	00.986 ^c ± 0.02	P<0.01
C20:2	00.051 ^a ± 0.00	00 ^b	00 ^b	00 ^b	P<0.05
C20:3n3	00.093 ^b ± 0.01	00.081 ^c ± 0.00	00.118 ^a ± 0.00	00.094 ^b ± 0.00	P<0.01
C22	00.062 ^c ± 0.00	00.000 ^d ± 0.00	00.076 ^a ± 0.00	00.066 ^b ± 0.00	P<0.01
C20:3n6	00.149 ^b ± 0.01	00.157 ^a ± 0.00	00.135 ^c ± 0.00	00.123 ^d ± 0.00	P<0.01
C24:0	00.198 ^a ± 0.01	00 ^d	00.085 ^b ± 0.00	00.043 ^c ± 0.00	P<0.01
AGS	68.462 ± 3.39	71.501 ± 0.75	68.338 ± 01.11	69.008 ± 1.45	p>0.05
AGI	31.532 ^a ± 1.56	28.510 ^b ± 0.30	31.663 ^a ± 0.51	30.989 ^a ± 0.65	P<0.01
AGS/AGI	02.171 ^b ± 0.11	02.508 ^a ± 0.03	02.158 ^b ± 0.04	02.227 ^b ± 0.05	P<0.01
AGMI	28.140 ^a ± 1.40	25.280 ^b ± 0.26	28.146 ^a ± 0.60	27.175 ^a ± 0.57	P<0.01
AGPI	03.398 ^{bc} ± 0.17	03.235 ^c ± 0.03	03.517 ^b ± 0.06	03.814 ^a ± 0.08	P<0.01
AGCCM	09.712 ^b ± 0.48	10.567 ^a ± 00.10	09.911 ^b ± 0.16	09.669 ^b ± 0.20	P<0.05
AGCL	90.300 ± 4.47	89.448 ± 0.93	90.090 ± 1.46	90.328 ± 1.90	P>0.05
ω-3	00.431 ^d ± 0.02	00.482 ^c ± 0.01	00.566 ^b ± 0.01	00.600 ^a ± 0.01	P<0.01
ω-6	02.915 ^b ± 0.14	02.752 ^c ± 0.03	02.951 ^b ± 0.05	03.205 ^a ± 0.07	P<0.05
ω-6/ ω-3	06.764 ^a ± 0.34	05.711 ^b ± 0.06	05.214 ^c ± 0.09	05.264 ^c ± 0.11	p<0.01

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types; Pour chaque groupe, le nombre de répétitions est de 03 (n = 03) ; EHMMP : Extrait Hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. ; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (Taux d'extrait de menthe incorporés dans le yaourt); p<0.05 : effet significatif du facteur étudié; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié. Les moyennes dans la même ligne avec différents souscriptions sont significativement différentes; MGT : matière grasse totale ;C4:0 (acide butyrique) ; C6:0 (acide caproïque) ; C8:0 (acide caprylique) ; C10:0 (acide caprique) ; C11:0 (acide undécanoïque) ; C12:0 (acide laurique) ; C13 : 0 (acide tridécanoïque) ; C14:0 (acide myristique) ; C14:1 (acide myristoléique) ; C15:0 (acide pentadécanoïque) ; C16:0 (acide palmitique) ; C16:1 (acide palmitoléique) ; C17:0 (acide heptadécanoïque) ; C18:1n9c (acide oléique) ; C18:2n6c (acide linoléique) ; C20:0 (acide arachidique) ; C18:3n3 (acide α-linolénique) ; C20 : 1n9 (acide cis-11-ecosénoïque) ; C20:2 (acide cis-11,14-ecosadiénoïque) ; C20:3n3 (acide cis-11,14,17-ecosatriénoïque) ; C22:0 (acide béhénique) ; C20 : 3n6 (Acide cis-8,11,14-Eicosatriénoïque) ; C24:0 (Acide lignocérique) ; AGS :Acides gras saturés ; AGI :Acides gras insaturés ; AGS/AGI : rapport acides gras saturés/acides gras insaturés ; AGMI : Acide gras mono insaturé ; AGPI :Acide gras poly insaturé ; AGCCM : Acides gras à chaîne courte et moyenne ;AGC L: Acides gras à chaîne longues ; ω-3:Oméga 3 ; ω-6:Oméga 6 ; ω-6/ ω-3 : rapport Oméga 6/ Oméga3.

2. Discussion

2. 1. Etude phytochimique de l'extrait

L'extraction par solvant, notamment les alcools dont le méthanol, est la technique la plus fréquemment appliquée pour la récupération des principaux composés phénoliques à partir d'une matrice végétale. En effet, plusieurs chercheurs ont suggéré que l'utilisation du méthanol aqueux comme solvant d'extraction offre les meilleurs rendements par rapport à ceux obtenus avec le méthanol absolu (**Chatha et al., 2006 ; Sultana et al., 2007**).

Dans la présente étude l'extraction des composés bioactifs de *Mentha piperita* L., objet de l'étude avec du méthanol aqueux à 80% (80 : 20 ; méthanol : eau ; v/v) selon la méthode décrite par (**Sultana et al., 2007**) a généré un rendement (17.51) supérieur à celui obtenu par macération dans du méthanol absolu d'une menthe poivrée récoltée en Iran (**Ranjbar et al., 2020**). Cette différence serait probablement due à la composition différente des échantillons (**Al-Zaben et al., 2023**) influencée par plusieurs facteurs dont la localisation géographique et le climat (**Brahmi et al., 2022**). L'usage de l'eau à forte polarité au mélange alcoolique à faible polarité lors de l'extraction est également un facteur qui influence l'efficacité de l'extraction selon les constatations de plusieurs chercheurs (**Chatha et al., 2006 ; Sultana et al., 2007**).

Le criblage phytochimique de cet extrait hydrométhanolique a montré sa grande richesse en polyphénols et en flavonoïdes. L'abondance de ces deux groupes de composés phytochimiques dans les extraits de menthe poivrée obtenus par usage du méthanol comme solvant d'extraction a été signalée aussi par (**Farnad et al., 2014**). L'extrait analysé s'avère également renfermer des stéroïdes, ainsi que des alcaloïdes et des tanins catéchiques. Ces résultats concordent à ceux avancés par **Valsala et al. (2021)** et **Gadaka et al. (2021)** qui ont en outre rapporté la présence des saponines dans l'extrait méthanolique de feuilles de menthe poivrée ; alors que ces derniers composés n'ont pas été détectés dans l'extrait analysé qui semble éventuellement contenir des coumarines et des traces de sucres réducteurs. La présence de tanins et de flavonoïdes dans l'extrait méthanolique de menthe poivrée a également été confirmée par **Pramila et al. (2012)**. En outre, le criblage phytochimique a révélé une présence d'anthocyanes dans l'extrait expérimental. A ce propos **Farnad et al. (2014)** ont trouvé aussi une présence de ces composés dans l'extrait méthanolique *Mentha piperita* L. cultivée en Irak.

Par ailleurs, les méthodes d'analyses spectrophotométriques appliquées dans la présente étude à l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. récoltée au Sahara Algérien plus précisément dans la région de Ouargla ont quantifié les proportions de composés phénoliques totaux et de flavonoïdes totaux contenues dans la plante à environ 7.01 g EAG/100g *PMP* et à 3.87 g EQ/100g *PMP*, successivement. Bien qu'il s'agit de la même plante, **Farnad et al. (2014)** ont révélé des teneurs plus faibles estimées respectivement à 3.33 g EAG/100 g *PMP* et 2.48 g EQ/100 g *PMP* après examen d'extrait de *Mentha piperita* L. récoltée en Irak obtenu par usage du méthanol absolu comme solvant d'extraction. Cette différence des résultats est certainement due au mélange méthanol/eau utilisé dans le cadre de cette étude dont la différence de polarité semble extraire le maximum de composés bioactifs. La présence d'alcool aurait, ainsi, augmenté la solubilité des solutés, tandis que l'eau a favorisé sa désorption de la matrice de l'échantillon

(Mustafa et al., 2011). Il a été indiqué dans la littérature que les solvants absolus ne sont pas en mesure de fournir une extraction suffisamment efficace des composés phénoliques comparés aux solvants aqueux (Safdar et al., 2017). Ceci est dû à la présence de fortes liaisons hydrogène établies entre les protéines de la matrice végétale et les composés phénoliques, entraînant une réduction de leur solubilité, tandis que la présence de l'eau en mélange avec ces solvants permet de fragiliser ces liaisons tout en favorisant une plus grande solubilité de ces substances (Wissam et al., 2012).

De nombreuses études ont démontré l'efficacité du méthanol aqueux par comparaison au méthanol absolu à récupérer les plus importantes quantités de composés phénoliques à partir des feuilles de *Moringa oleifera* (Siddhuraju et al., 2003) et du son de riz (Chatha et al., 2006). De leur côté, Anwar et al. (2006) sont parvenus à extraire des composés antioxydants contenus dans diverses matières végétales, à savoir le son de riz, le son de blé, le gruau et les enveloppes d'avoine, les grains de café, les écorces d'agrumes et les feuilles de goyave en utilisant du méthanol aqueux à 80% (méthanol : eau ; 80 : 20 ; v/v) comme solvant d'extraction.

Par ailleurs, l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. récolté en Algérie dans le cadre de cette étude a enregistré une faible teneur en tannins (0.07 mg EC/g PMP) comparativement à l'extrait méthanolique de cette même espèce végétale récoltée en Inde (2.0 mg/g PMP) (Sujana et al., 2013). Il est bien établi que les rendements d'extraction ainsi que la qualité des substances bioactives des plantes ne sont pas influencés uniquement par la nature du solvant d'extraction; mais aussi par plusieurs autres facteurs dont notamment le climat et l'emplacement géographique (Brahmi et al., 2022).

D'après (Trivellini et al., 2016), les plantes appartenant à la famille des Lamiacées sont bien reconnues d'être une excellente source d'acides phénoliques dont l'acide rosmarinique réputé pour ses propriétés antivirales, antibactériennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et immunostimulant (Zgórka & Glowniak, 2001). C'est aussi un antiplaquettaire, un hépatoprotecteur, un inhibiteur d'oxyde nitrique et un vaso-relaxant (Nugroho et al., 2012). Selon les résultats de l'analyse chromatographique liquide couplée à la spectrophotométrie de masse (LC-MS/MS) appliquée dans la présente étude, l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. s'avère contenir un taux très important d'acides phénoliques estimé à 93.80% dont la plus grande partie est constituée d'acide rosmarinique qui représente environ 92.57% de la totalité des acides phénoliques quantifiés. Avec une teneur de 346.875 mg/g d'extrait hydrométhanolique sec de *Mentha piperita* L., l'acide rosmarinique, qui est un ester d'acide caféique (acide 3,4-dihydroxycinnamique) et d'acide 3,4-dihydroxyphényllactique (DHPL) (Petersen, 2013) a constitué dans l'extrait examiné le principal composé phénolique représentant 86.83% de la totalité des substances phytochimiques identifiées. Ces résultats concordent à ceux rapportés par Kürekci & Beyazit (2022) ou l'acide rosmarinique a été détecté en tant que composé bioactif majeur dans l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. récoltée en Turquie avec un taux seulement de 10.505 mg/g d'extrait sec. Ce taux reste, toutefois, 33 fois plus faible que celui de l'extrait expérimental entrepris dans la présente étude.

De leur côté, Elansary et al. (2020) ont indiqué que l'extrait méthanolique des feuilles de *Mentha piperita* L. provenant de l'Arabie Saoudite renferme diverses acides phénoliques à savoir l'acide

chlorogénique, l'acide protocatéchuïque, l'acide caféique et l'acide rosmarinique quantifié en majorité à une forte proportion de 15.476 mg/g d'extrait sec. Cette concentration d'acide rosmarinique apparaît, néanmoins, 22 fois plus faible que celle contenue dans l'extrait de menthe poivrée étudié. **Zgórka & Głowniak (2001)** ont également démontré la prédominance de l'acide rosmarinique parmi les autres composés essentiels identifiés dont les acides protocatéchuïque, gentisique, chlorogénique, caféique et *p*-coumarique.

Les résultats expérimentaux ont également montré la présence d'autres acides phénoliques dans l'extrait hydrométhanolique de la plante étudiée à savoir les acides quinique, caféique, chlorogénique, protocatéchuïque et *p*-coumarique à des teneurs respectives de 23.403, 01.506, 01.408, 0.884 et 00.367 mg/g d'extrait sec. Ces valeurs sont bien plus élevées que celles rapportées par **Kürekci & Beyazit (2022)** qui ont mis en évidence la présence dans l'extrait méthanolique de *Mentha piperita* L. des acides quinique, caféique, chlorogénique, protocatéchuïque et *p*-coumarique à des taux de 2.243, 0.625, 0.125, 0.363 et 0.194 mg/g d'extrait sec, successivement.

Il convient de noter qu'avec une teneur de 23.403 mg/g d'extrait sec, l'acide quinique semble constituer 5.76% du total des composés phytochimiques quantifiés dans cette recherche et représente ainsi le second composé majoritaire chez la menthe poivrée récoltée en Algérie juste après l'acide rosmarinique. Cet acide peut être converti au niveau du tractus gastro-intestinal en tryptophane et en nicotinamide par la microflore intestinale, fournissant ainsi au consommateur une source physiologique in situ de ces composants métaboliques essentiels (**Hanalp et al., 2023**). Le tryptophane joue un rôle important dans de nombreuses fonctions métaboliques, tout particulièrement il collabore au bon fonctionnement de l'axe cérébro-intestinal et du système immunologique, à la résolution des troubles cognitifs, de l'anxiété ou des maladies neurodégénératives, ainsi qu'au traitement de la dépression et des troubles du sommeil de par son rôle de précurseur de la sérotonine et de la mélatonine (**Kaluźna-Czaplińska et al., 2019**). Quand à la nicotinamide, qui est un mononucléotide naturel et biologiquement actif, elle possède d'excellentes activités pharmacologiques, notamment contre le vieillissement, les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives (**Liu et al., 2023**).

En outre l'acide chlorogénique, qui est un ester de l'acide caféique et de l'acide quinique (**Gil & Wianowska, 2017**) a été estimé à 01.408 mg/g d'extrait sec dans la présente étude. Il est bien prouvé que cet acide présente un fort pouvoir antioxydant et exerce des activités antivirales multiples contre le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) (**McDougall et al., 1998 ; Tamura et al., 2006 et Hanalp et al., 2022**).

Par ailleurs, avec des teneurs de 9.791 et 4.827 mg/g d'extrait sec enregistrées, respectivement, pour le cyranoside et la cosmosiine, ces deux flavones représentent les concentrations les plus élevées parmi les 14 flavonoïdes identifiés et quantifiés dans la présente recherche. Nos résultats sont très proches de ceux rapportés par **Kürekci & Beyazit (2022)** qui ont signalé aussi une présence de cyranoside et de cosmosiine à des teneurs de 8.545 et 8.489 mg/g d'extrait sec, respectivement, dans l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. cultivée en Turquie. La présence de cyranoside dans l'extrait méthanolique de *Mentha piperita* L. à une concentration

(1.628 mg/g d'extrait sec) six fois plus faible que dans la présente étude a été également rapportée par **(Elansary et al., 2020)**.

La lutéoline dont les effets bénéfiques sur la santé sont bien prouvés grâce à ses propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes **(Manzoor et al., 2019)** a également été identifiée dans l'extrait hydrométhanolique de la plante objet de la présente étude à une teneur assez importante de l'ordre de 0.755 mg/g d'extrait sec, ainsi que d'autres flavonols dont l'acacétine (0.697 mg/g d'extrait sec), l'apigénine (0.294 mg/g d'extrait sec) et la chrysin (0.005 mg/g d'extrait sec). Excepté la chrysin, la présence de ces composés bioactifs à des taux variables dans l'extrait méthanolique de menthe poivrée a été éventuellement avancée dans une étude menée par **Kürekci & Beyazit (2022)**.

Par ailleurs, plusieurs auteurs suggèrent que la menthe poivrée est riche en flavanones, dont la naringénine et l'hespéridine **(Fecka & Turek, 2007 ; Mahendran & Rahman, 2020)**. En effet, cette étude a montré aussi une teneur en hespéridine assez intéressante estimée à 4.213 mg/g d'extrait sec de la plante et qui représente 1.05% du total des composés phytochimiques identifiés la classant ainsi en 5^{ème} position parmi les composés phénoliques majeurs identifiés dont l'acide rosmarinique, l'acide quinique, le cyanoside et la cosmosiine. Deux autres flavanones à savoir l'hespéridine et la naringénine (0.237 et 0.174 mg/g d'extrait sec, respectivement) ont été également retrouvés dans l'extrait de menthe poivrée récolté en Algérie.

En outre, l'extrait analysé semble renfermer aussi 4 flavonols dont Rutine, isoquercitrine, Astragaline et Kaempférol à des teneurs respectives de 0.603, 0.36, 0.071 et 0.044 mg/g d'extrait sec, ainsi qu'un isoflavone (génistéine) et un seul aldéhyde phénolique (l'aldéhyde protocatéchuique) à des taux de 0.057 et 0.172 mg/g d'extrait sec, successivement. Certains de ces résultats concordent bien à ceux rapportées par **Kürekci & Beyazit (2022)** qui ont recensé également dans l'extrait méthanolique d'une menthe poivrée récoltée en Turquie une présence d'Astragaline, de Kaempférol et d'aldéhyde protocatéchuique à des teneurs respectives de 0.151 , 0.009 et 0.048 mg/g d'extrait sec; alors que pratiquement l'extrait semble être exempt de rutine, d'isoquercitrine et de génistéine.

2.2. Potentiel antioxydant de l'extrait

Étant donné que la valeur IC50 est négativement liée à l'activité antioxydante, l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. analysé dans la présente étude, affiche un pouvoir inhibiteur appréciable qui s'est traduit par de faibles valeurs IC50 estimées à 3.25 et 2.54 mg de lyophilisat d'extrait de menthe/ml obtenues par piégeage des radicaux DPPH et ABTS, respectivement. Bien que l'extrait expérimental semble bien avoir un potentiel antioxydant inférieur à celui des standards, qui ont montré des valeurs d'IC50 plus faibles de 0.16 et 1.36 mg d'acide ascorbique /ml et de 0.03 et 1.17 mg quercétine obtenus selon les deux tests de DPPH et d'ABTS respectivement, son potentiel antioxydant s'est révélé considérablement plus élevé que celui démontré par **Farnad et al. (2014)** dans une étude portant sur l'extrait au méthanol absolu d'une menthe poivrée cultivée en Irak qui a affiché d'après le test de DPPH une IC50 de 14.77 mg/ml et témoignant ainsi une activité antioxydante nettement plus faible que celle indiquée dans la présente étude. La présence d'eau à 20% dans le solvant d'extraction hydrométhanolique semble induire une extraction plus avantageuse des composés phénoliques contenues dans la

menthe poivrée qui par voie de conséquence ont amélioré le pouvoir antioxydant de l'extrait étudié (**Roshanpour et al., 2023**). Les mêmes constatations ont été avancées par de nombreux chercheurs qui ont attribué en majorité l'activité antioxydante des extraits des plantes à la présence de composés phénoliques qui par leurs propriétés redox agissent comme des agents réducteurs, donneurs d'hydrogène et piègeurs d'oxygène singulet (**Russo, 2018 ; Benouchene et al., 2021**). Parmi ces composés, les flavonoïdes sont les principaux acteurs de cette activité anti-radicalaire en vue de leur qualité de donneur d'hydrogène lié aux structures cycliques aromatiques (**Gulcin, 2020**).

L'acide rosmarinique, qui est notamment le composé phénolique le plus dominant dans l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., étudié à côté du cyanoside et de la cosmosiine qui viennent de suite en terme de quantité, contribueraient efficacement à renforcer l'activité antioxydante de l'extrait analysé étant donné que leur fort pouvoir à inhiber les radicaux DPPH a été rapporté par plusieurs auteurs (**Elansary et al., 2020**). L'hespéridine et l'hespérétine qui ont été retrouvés dans l'extrait étudié se sont également révélées être de puissants piègeurs des radicaux DPPH et ABTS (**Choi et al., 2022**).

Il convient, éventuellement, de noter que l'effet antioxydant des extraits des plantes dépend non seulement de la teneur en composés phénoliques qu'ils contiennent ; mais aussi des effets synergiques de ces composés (**Hajimehdipoor et al., 2014**). Nos résultats ont montré aussi la présence dans l'extrait hydrométhanolique de menthe étudié d'un véritable mélange de composés phénoliques dominé particulièrement par l'acide rosmarinique en plus d'un acide non phénolique (acide fumarique) dont l'effet synergique sur l'activité antioxydante des flavones a été déjà démontré in vitro par (**Zhang et al., 2022**).

En fin, les résultats de la présente étude ont dévoilés que l'IC50 de l'extrait hydrométhanolique évaluée par le test à l'ABTS a affiché des valeurs réduites (2.51 mg/ml) comparativement à celle obtenue avec le test DPPH (3.26 mg/ml) pour le même extrait. Cela serait la conséquence de la présence dans l'extrait analysé de substances dont le spectre d'absorption se situe à la même longueur d'onde que celui du radical ABTS ; ce qui s'est traduit par une augmentation des valeurs de l'absorbance (**Sarr et al., 2015 ; Dieng et al., 2017**).

2.3. Impact antimicrobien de l'extrait de Menthe sur les bactéries starters du yaourt

La menthe poivrée est l'une des plantes médicinales les plus consommées au monde. Elle est considérée comme une source importante de métabolites à usage nutritionnel présentant des caractéristiques antibactériennes (**Mahmoudi et al., 2019**).

Effectivement, la méthode de contact direct appliquée dans la présente étude chez *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* a fait ressortir un effet antibactérien très marquant induit par l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., envers les deux germes dont les taux de croissance ont diminué d'une manière hautement significative ($p < 0.01$) au fur et à mesure que la concentration de l'extrait augmente de 20 à 80% ; soit des baisses de la prolifération bactérienne variables de 81.74 à 9.80% pour les *S.thermophilus* et de 66 à 8.33% pour les *L.bulgaricus*, respectivement. Quant à l'extrait pur non dilué et concentré à 100%, il a enregistré un taux de croissance nul pour les deux germes lactiques spécifiques du yaourt étudié.

L'augmentation des diamètres des zones d'inhibition induites par des concentrations croissantes d'extrait évalué par le test de diffusion sur disque vient confirmer ces résultats, en révélant une activité inhibitrice remarquable de l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée concentré à 100% et en indiquant par voie de conséquence des diamètres d'inhibition remarquables de 10.67 mm chez *S. thermophilus* et de 17.33 mm chez *L. bulgaricus*.

A ce propos, de nombreux auteurs ont également signalé la sensibilité plus ou moins importante de ces deux bactéries lactiques du yaourt à croître convenablement en présence d'extraits hydroalcooliques de quelques plantes médicinales riches en composés phénoliques notamment de *Mentha piperita* L. (Ait Chabane et al., 2021) et de *Thymus vulgaris* L. (Khelifi et al., 2018).

La concentration minimale inhibitrice (CMI) de ces deux germes a été obtenue à 40% d'extrait ; alors que les CMB ont été observées respectivement à 60% d'extrait chez *S. thermophilus* et à 40% chez *L. bulgaricus*. Par ailleurs, d'après les rapports CMB/CMI inférieurs à 2 (Denis et al., 2011), l'extrait examiné s'est révélé exercer un effet de type bactéricide chez les deux germes étudiés.

Apparemment, la multiplication des bactéries starters de yaourt à Gram positif ne commence à apparaître que pour de fortes concentrations d'extraits phénoliques supérieures à 40%. Cette effet antibactérien de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. a été mis en évidence par de nombreuses études chez particulièrement les bactéries pathogènes. A ce propos, les bactéries à Gram positif ont été les plus sensibles que celles à Gram négatif (Hussein et al., 2020). Cette sensibilité pourrait trouver une explication dans la présence de lipopolysaccharides hydrophobes dans la membrane externe des bactéries à Gram négatif contrairement aux germes à Gram positif, offrant ainsi à celles-ci une protection contre les agents antibactériens dont les composés phénoliques. Une telle structure fait obstacle à la dépoliarisation et à la formation de pores, et par conséquent à la perméabilité de la membrane (Ebbensgaard et al., 2018 ; Hussein et al., 2020).

Les résultats de l'analyse LCMS/MS ont permis de voir une prédominance remarquable de l'acide rosmarinique signalé par plusieurs auteurs comme ayant un fort pouvoir antibactérien (Righi et al., 2020 ; Elansary et al., 2020 ; Hitl et al., 2021) via sa capacité élevée d'insertion démontrée sur la membrane cellulaire des bactéries à gram positif (Righi et al., 2020). Ainsi, une partie importante de l'activité antibactérienne serait sans doute attribuée à ce composé étant donné qu'il a été retrouvé majoritairement dans l'extrait étudié. D'autres acides ont assurément contribué à cette action antibactérienne entre autres l'acide caféique reconnu comme étant très inhibiteur de la croissance des germes *Staphylococcus aureus* (Luís et al., 2014). Il est aussi évident que l'activité antibactérienne de l'extrait objet de la présente étude pourrait également être associée aux flavonoïdes par leur faculté de se combiner aux protéines extracellulaires et solubles nécessaires à la croissance cellulaire (Référence) (Zharif et al., 2018), Ils agissent également sur les membranes des cellules bactériennes en provoquant la détérioration des bicouches phospholipidiques et l'inhibition de la chaîne respiratoire (Yan et al., 2024). D'après, Sujana et al. (2013) les flavonoïdes les plus lipophiles sont capables de détériorer remarquablement les membranes microbiennes dont les conséquences peuvent évoluer à la mort de la bactérie.

D'autres métabolites secondaires détectés dans la menthe poivrée récoltée en Algérie tels que la lutéoline et l'apigénine dont l'action antibactérienne à l'égard de certains germes tels que les

Staphylococcus aureus à Gram positif a été rapportée par (Kapp et al., 2020) peuvent éventuellement contribuer à expliquer les aptitudes antibactériennes de l'extrait étudié vis-à-vis des deux germes de yaourt testés à savoir *S. thermophilus* et *L. bulgaricus*.

En outre, l'activité antibactérienne de l'extrait peut être en relation aux effets synergiques des multiples composés bioactifs constitutifs (Dorman et Deans, 2000 ; Antolak et al., 2018 ; Hussein et al., 2020 ; Ait Chabane et al., 2021). Cet effet synergique n'a pas été vérifié dans cette étude ou plus de 5 composés phénoliques dominant ont été détectés dans l'extrait étudié dont l'acide rosmarinique, l'acide quinique, le cyanoside, la cosmosiine et l'hespéridine.

2.4. Qualité des yaourts à l'extrait de *Mentha piperita* L.

2.4.1. Bactéries spécifiques du yaourt

Les résultats du dénombrement des bactéries lactiques des yaourts expérimentaux ont montré durant les deux premières heures de fermentation un retard de la croissance des *L. bulgaricus* (*Lb*) par rapport aux *S. thermophilus* (*St*) qui tolèrent mieux le pH neutre et assimilent plus efficacement les acides aminés et les oligo-éléments déjà présents dans le milieu (Sieuwerts, 2016).

Une autre explication possible et évidente de la forte présence de *S. thermophilus* par rapport au *L. bulgaricus* serait l'inoculation du lait par une culture de départ plus riche en *St* qu'en *Lb* avec un rapport de 2 fois *St* sur 1 fois *Lb*. Cependant, Robinson (2002) a rapporté que même avec une culture de départ de 1 : 1 (1 *St* / 1 *Lb*) le germe *St* a représenté une proportion d'environ 75 à 85% des cellules viables présentes dans le yaourt. Ceci n'a pas été cohérent avec nos résultats du moment que ce niveau de ratio *St/Lb* n'a pas été atteint en raison probablement de plusieurs autres facteurs censés avoir influencer la prolifération des bactéries starters du yaourt, notamment le type et la quantité d'inoculum appliqué, le temps d'incubation et de stockage, et la disponibilité des nutriments dans le milieu (Cais-Sokolinska & Pikul, 2004 ; Najgebauer-Lejko et al., 2011).

A la fin de la fermentation, une augmentation du nombre de *L. bulgaricus* a été constatée, ce qui serait attribuable à un environnement plus propice à leur développement, notamment l'acidité relativement élevé du milieu et la disponibilité plus ou moins importante des métabolites servant de facteurs de croissance fournis par *S. thermophilus*. En effet, bien que ces deux bactéries lactiques soient en mesure de fermenter le lait individuellement, leur action conjointe en co-culture réduirait le temps de fermentation. Elles réagissent les unes avec les autres en symbiose dans une relation appelée protocoopération (Yamauchi et al., 2023) au sein de laquelle *S. thermophilus* produit les métabolites indispensables pour accélérer la croissance de *L. bulgaricus* dont les acides pyruvique, formique et folique, ainsi que le dioxyde de carbone et en échange *L. bulgaricus* dégrade les caséines du lait, grâce à sa protéase et fournit ainsi des peptides et des acides aminés libres assimilables par *S. thermophilus* dont la croissance se voit alors stimulée (Yamamoto et al., 2021 ; Yamauchi et al., 2018 ; Xue et al., 2023 ; Ge et al., 2024).

Cependant, l'analyse de variance a révélé, pendant toute la période de post-acidification, un effet hautement significatif ($p < 0.01$) de l'ajout de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. sur le développement des deux bactéries étudiées dans les yaourts expérimentaux dont le nombre

comparativement au témoin a eu tendance à diminuer remarquablement en fonction de l'augmentation des doses d'extrait incorporés.

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Ait Chabane et al. (2021)** qui suggèrent que l'ajout d'extrait hydroalcoolique de *Mentha piperita* L. au cours du procédé d'élaboration d'un yaourt étuvé entraîne une baisse notable du contenu en germes *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* viables dans le produit fini. Cette incidence négative sur les bactéries stater du yaourt a été également constatée lors de l'enrichissement du yaourt par l'extrait hydrométhanolique de *Thymus vulgaris* (**Khelifi et al., 2018**) et par les extraits des thés noir, vert et blanc (**Muniandy et al., 2017**).

L'effet antibactérien de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des germes *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* étudiés résulte surtout de sa richesse en acide rosmarinique, largement reconnu pour son puissant effet antimicrobien grâce à sa capacité à altérer la paroi bactérienne (**Righi et al., 2020 ; Elansary et al., 2020 ; Hitl et al., 2021**). De plus, d'autres acides comme l'acide caféique ont été retrouvés à de fortes concentrations dans l'extrait expérimental tout comme les flavonoïdes qui jouent un rôle crucial dans l'inhibition de la croissance bactérienne en perturbant les protéines nécessaires à leur développement et en endommageant leurs parois cellulaires (**Luís et al., 2014**). Des métabolites secondaires tels que la lutéoline et l'apigénine, présents dans la menthe poivrée algérienne, pourraient sans doute aussi contribuer à l'activité antibactérienne observée chez les germes lactiques étudiés, comme cela a été constaté chez *Staphylococcus aureus* à Gram positif (**Kapp et al., 2020**).

Cependant, ces composés phénoliques agissent différemment sur la croissance bactérienne selon la souche microbienne, la structure des polyphénols et le dosage utilisé (**Hervert-Hernández et al., 2009**). D'après plusieurs études (**Dorman et Deans, 2000 ; Antolak et al., 2018 ; Hussein et al., 2020 ; Ait Chabane et al., 2021**), l'efficacité antibactérienne de l'extrait résulte surtout de l'interaction synergique entre les nombreux composés bioactifs constitutifs.

Il convient de noter qu'au terme de la période de fermentation qui a duré 4 heures, les yaourts enrichis à des doses de 2, 4 et 6% d'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée ont présenté un nombre total de *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* fluctuant dans la fourchette de 89.10^5 à 165.10^5 UFC/g. Ces valeurs restent conformes aux normes admises dans le Codex Alimentarius (**Joint FAO/WHO, 2003**) qui stipulent que le yaourt doit contenir en terme de fabrication un nombre de germes spécifiques vivants d'environ 10^6 UFC/g.

2.4.2. Qualité physicochimique

Les résultats de mesure du pH ont montré une diminution significative ($p < 0.01$) des valeurs allant de 6.46 à 4.55 en moyennes respectivement du début de la fermentation au 21^{ème} jour de post-acidification. Cette baisse du pH a été accompagnée durant cette période d'une augmentation significative ($p < 0.05$) et proportionnelle de 18.33 à 85.91°D en moyennes de l'acidité des produits dont la viabilité et l'activité des bactéries de démarrageensemencés dans les yaourts expérimentaux semblent se poursuivre pendant toute la période de stockage de 21 jours au froid positif de 6°C. Ces bactéries peuvent générer du lactate par fermentation du lactose constitutif du lait qui acidifie par voie de conséquence progressivement les yaourts tout en réduisant au fur et à

mesure le pH du milieu (Accolas et al., 1977 ; Zourari et al., 1992). Ce paramètre d'acidité constitue un facteur important ayant un impact à la fois sur la durée de conservation, ainsi que sur l'acceptabilité du produit aux plans de la fraîcheur et des qualités rhéologiques par les consommateurs (Al-Otaibi & El Demerdash, 2008). Cependant, les valeurs de pH et d'acidité ont été significativement ($p < 0.01$) affectées par l'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée dans le yaourt avec des valeurs de pH qui ont augmenté proportionnellement aux doses d'extrait ajoutées de 4.58 pour le témoin sans extrait à 5.29 pour le yaourt additionné à une dose extrême de 6% d'extrait à la fin de la fermentation, et des variations ($p < 0.01$) respectives de 4.21 à 4.79 à la fin de la période de post acidification au 21^{ème} jour de conservation.

Contrairement au pH, les valeurs de l'acidité dans les deux produits expérimentaux ont diminué ($p < 0.01$) en fonction des doses d'extrait additionnées de 80.33 à 69.55 °D après 4 heures de fermentation et de 98.50 à 72.85 °D au 21^{ème} jour de post acidification. Nos résultats sont en accord à ceux mentionnés dans de nombreux travaux de recherche portant sur la supplémentation des yaourts par des extraits hydrométhanoliques de *Thymus vulgaris* L. (Khelifi et al., 2018) et d'*Origanum vulgare* L. (Shahbazi & Shavisi, 2019) ayant démontré une nette réduction de l'acidité et l'augmentation du pH en fonction des doses d'extrait ajoutées riches en principaux composés bioactifs. Il est très probable que ces réponses sont dues à une atténuation de la production du lactate par les bactéries de culture du yaourt en raison d'une baisse de leur développement influencée par les multiples composés phénoliques tels l'acide rosmarinique, l'acide caféique, le lutéoline et l'apigénine contenus dans l'extrait incorporé notamment à de fortes doses et dont le pouvoir antibactérien a été reconnu contre de nombreux germes (Luís et al., 2014 ; Elansary et al., 2020 ; Kapp et al., 2020 ; Hitl et al., 2021). La littérature a rapporté, par ailleurs, différentes valeurs d'acidité titrable des yaourts selon le constituant d'origine végétal ajouté. Khelifi et al. (2018) ont indiqué au cours de 21 jours de conservation au froid positif de 6°C des valeurs d'acidité qui ont diminué de 94 à 72 °D dans les yaourts préparés avec l'extrait de *Thymus vulgaris* L., à des doses variables de 0 à 8%. Des teneurs qui ont augmentées de 78 à 103 °D ont été enregistrées au cours des mêmes périodes pour des yaourts enrichis en farine de lentilles à différentes doses (Benmeziane et al., 2021). Alors que pour des yaourts supplémentés en pectine à faibles doses de 0 à 0.6%, les valeurs moyennes d'acidité ont varié entre 95.12 et 96.69 °D au cours de toute la phase de post-acidification (Arioui et al., 2017). Cette diversité dans les valeurs d'acidité constatées peut-être attribuée à plusieurs facteurs du milieu, notamment la présence des facteurs de croissance des bactéries lactiques, favorisant ainsi leur activité fermentaire productrice de lactate (Paucean et al., 2018), ainsi que des composés phénoliques à action antimicrobienne contenus dans les extraits de plantes médicinales, dont l'effet sur les bactéries à Gram positif a été confirmé par (Wei et al., 2023); mais aussi à la dose et le pouvoir acidifiant du ferment utilisé (Vénica et al., 2018). Cependant, au terme de la période de post acidification après 21^{ème} jour de conservation au froid, il apparaît clairement que les valeurs d'acidité mesurées dans les yaourts avec ou sans ajout d'extrait de menthe poivrée sont conformes à la normale de moins de 1.5 g d'acide lactique/100 g de yaourt rapportée par (De Moura et al., 2019). Il convient de noter aussi que le yaourt additionné à 2% d'extrait a présenté une acidité très proche ($p > 0.05$) de celle du témoin en raison probablement d'une plus faible altération des bactéries lactiques productrices du lactate par le faible contenu en composés

phénoliques antimicrobiens de cette dose par rapport aux doses sévères de 4 et 6% très concentrés en composés bioactifs.

La viscosité qui est considérée comme l'un des facteurs déterminant de la stabilité du caillé lactique et donc de la qualité rhéologique du yaourt (Celik & Temiz, 2022) a eu tendance à augmenter avec le temps dans tous les échantillons de yaourt traités ou non avec l'extrait phénolique de *Mentha piperita* L. en accusant des valeurs qui ont varié de 0.86 à 3.47 m²/s en moyenne du début à la fin de la fermentation et qui ont continué à rehausser au cours du stockage pour atteindre une valeur moyenne maximale de 54.38 m²/s après 21 jours de stockage à 6°C. Cette progression de la viscosité provient du processus de fermentation établi par les deux souches spécifiques du yaourt à savoir *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* qui se poursuit même pendant la période de post-acidification, en acidifiant de plus en plus le lait et entraînant divers changements, dont la dissolution progressive du phosphate de calcium colloïdal et la perte de la charge négative des micelles de caséine, lesquelles fixent davantage de protons et deviennent de moins en moins solubles, puis elle s'agrègent au pH isoélectrique aux alentours de 4.6 conférant ainsi au yaourt une structure visqueuse (Koutina, et al., 2015). La viscosité du yaourt peut aussi être renforcée par les exopolysaccharides produits par les deux germes spécifiques du yaourt dont particulièrement les *Streptococcus thermophilus* qui démarrent la fermentation lactique (Cerning 1990 ; Laws et al. 2001). Ces composés glucidiques constitués surtout de galactose et de glucose (Rul, 2017) peuvent augmenter la viscosité et la qualité rhéologique du yaourt en se liant non seulement aux caséines du lait (Sahan et al., 2008 ; Haroune, 2022), mais aussi en empêchant la synérèse par fixation des molécules d'eau constitutives (Nikitina et al., 2023).

Au cours des deux périodes expérimentales de fermentation et de post-acidification, la supplémentation du yaourt en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. semble altérer significativement ($p < 0.01$) la viscosité des produits dont les valeurs avaient tendance à diminuer de 52.33 à 35.16 m²/s au terme de la fermentation et de 80.65 à 54.24 m²/s au 21^{ème} jour de réfrigération respectivement pour le témoin et le yaourt additionné d'extrait à la dose sévère de 6%. Dans ce contexte, plusieurs auteurs ont avancé aussi des baisses de la viscosité des yaourts suite à un renforcement des produits en extraits riches en composés phénoliques des feuilles de thé vert (Shokery et al., 2017), de thym (Khelifi et al., 2018) et de noyer (Shiravani & Ansari, 2020). Cette réduction de la viscosité est certainement due à la présence dans l'extrait de menthe de composés bioactifs capables de limiter la coagulation des protéines du lait et leur solubilisation partielle dans le milieu aqueux (Haroune, 2022). A ce propos, il a été rapporté que les composés phénoliques contenus dans les extraits des plantes ajoutés à de fortes doses peuvent par liaison aux protéines du lait former des complexes insolubles en limitant leur solubilisation partielle dans le milieu aqueux tout en réduisant la viscosité et la qualité rhéologique des yaourts (Ramaswamy & Basak, 1992 ; Szoltysik et al., 2021). Une explication plus plausible de la réduction de la viscosité du yaourt serait l'inactivation de la production des exopolysaccharides par *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* sensibles aux composés phénoliques à effet antibactérien démontré notamment vis-à-vis des germes à Gram positif (Lobiuc et al., 2023).

2.4.3. Qualité organoleptique

En terme de qualité organoleptique, les laits fermentés dépendent dans une large mesure de la perception sensorielle d'un ensemble complexe de critères tels la texture, l'apparence et la présence d'ingrédients aromatiques (Smit et al., 2005).

Dans la présente étude, l'analyse sensorielle des produits laitiers fermentés expérimentaux a montré globalement de meilleurs scores organoleptiques pour le témoin et les yaourts préparés à 2 et 4% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L.

En ce qui concerne l'acidité, la fraîcheur et l'arrière-goût, ces trois caractéristiques gustatives semblent être maintenues de manière satisfaisante dans le yaourt contenant 2% d'extrait et dans une moindre mesure dans celui préparé avec 4% d'extrait, par rapport au yaourt témoin. En effet, les notations obtenues dans la présente étude pour ces trois critères sensoriels ont montré une meilleure acceptation par les panélistes du yaourt additionné de 2% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. ayant presque les mêmes notations que le yaourt témoin, depuis le 7^{ème} jusqu'au 21^{ème} jour de de stockage au froid de 6°C. Alors qu'à plus de 4% d'extrait ajouté, le yaourt a été considéré comme désagréable par le panel de dégustation en raison du goût fade qui semble être la conséquence d'une faible production d'acide lactique liée à une diminution du nombre de bactéries lactiques spécifiques de démarrage (*S. thermophilus* et *L. bulgaricus*) altéré principalement par l'effet antibactérien avérés des principaux composés phénoliques dominant retrouvés dans l'extrait de menthe poivrée étudiée dont l'acide rosmarinique, l'acide caféique, le lutéoline et l'apigénine (Luis et al., 2014 ; Elansary et al., 2020 ; Kapp et al., 2020 ; Hitl et al., 2021).

Par ailleurs, en plus du lactate et des composés aromatiques habituels (acétaldéhyde, acétone, acétoïne et diacétyle) développés par les deux bactéries spécifiques *S. thermophilus* et *L. bulgaricus* au cours de leurs croissance dans le milieu, le rajout d'extrait de menthe à une faible dose de 2% semble apporter au produit des traces de nouveaux composés aromatiques contenus dans les feuilles de *Mentha piperita*L. dont le menthol, le menthone, le limonène et le pipéritone, (Eftekhari et al., 2021) offrant, ainsi, au yaourt plus de fraîcheur et une qualité sensorielle meilleure.

A propos de l'arrière-goût des produits, les panélistes ont apprécié plus le yaourt témoin et celui à 2% d'extrait qui ont obtenu des notations très proches, suivis de celui à 4%, tandis que le lait fermenté préparé à 6% semble accuser un arrière-goût très prononcé et désagréable, liés sans doute à l'amertume évidente conféré par certains composés bioactifs constitutifs de l'extrait ajouté à une forte dose tels l'acide rosmarinique et les flavonoïdes (Weimann, & Heinrich, 1997).

Au vu des résultats d'évaluation sensorielle de l'adhésivité et de la cohésivité des produits expérimentaux, le yaourt à 2% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. a été le mieux apprécié juste après le témoin pour ces deux critères organoleptiques, suivi de celui préparé à 4% puis du yaourt à 6% qui est classé en dernier avec de médiocres scores. Il apparaît donc que l'adhésivité et la cohésivité des yaourts préparés à une dose sévère d'extrait de *Mentha piperita* L., sont altérés en raison probable d'une moindre production d'exopolysaccharides par les

souches spécifiques *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* (Rawsaon & Marshal, 1997) dont l'activité est relativement atténuée par l'action antimicrobienne des composés phénoliques contenus dans l'extrait végétal de la plante étudiée. Nos résultats rejoignent ceux présentés par plusieurs auteurs qui ont également observé au cours du stockage réfrigéré une baisse de la qualité rhéologique des yaourts additionnés à de fortes doses d'extrait hydrométhanolique de *Thymus vulgaris* L. (Khelifi et al., 2018) ainsi que d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. (Ait Chabane et al., 2021) et qui l'ont attribué à l'effet antimicrobienne des composés phénoliques présents dans les extraits des plantes ajoutés vis-à-vis des bactéries starters du yaourt.

Par ailleurs, il est bien établi que l'odeur des yaourts est conférée le plus souvent par certains arômes tels que l'acétaldéhyde, l'acétone et le diacétyl produits par l'activité fermentaire des bactéries lactiques (Beshkova et al., 1998). L'ajout de l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée particulièrement à 2 et 4% semble améliorer ce critère sensoriel des yaourts qui ont été très appréciés par les panélistes mieux que le témoin. La combinaison des arômes naturels du yaourt avec ceux contenus dans l'extrait de menthe comme le limonène, le menthol et la menthone (Djenane et al., 2012) ont certainement contribué à former un mélange d'odeurs agréables ressentis plus par les dégustateurs dans les yaourts préparés à 2 et 4% d'extrait de la plante étudiée. Néanmoins, à 6% d'extrait l'activité bactérienne productrice d'arômes et de parfum semble être ralentie sous l'effet antibactérien probable des composés phénoliques constitutifs de l'extrait étudié comme l'acide rosmarinique, l'acide caféique, le lutéoline et l'apigénine (Elansary et al., 2020 ; Kapp et al., 2020 ; Hitl et al., 2021) dont le fort pouvoir odorant semble masquer celui caractéristique des yaourts.

En fin, une légère teinte verte due au pigment chlorophyllien contenu dans l'extrait a été observée dans les échantillons de yaourt supplémentés à une faible dose de 2%, qui semble correspondre à l'aspect sensoriel visuel préféré par les panélistes qui l'ont jugé de meilleure couleur que celle blanche ordinaire du yaourt nature standard et même meilleure que celles des yaourts contenant 4 et 6% d'extrait dont la teinture verte était plus prononcée. Une évaluation sensorielle similaire a été enregistrée par (khelifi et al, 2018) lors de l'ajout d'un extrait hydrométhanolique de *Thymus vulgaris* L., renfermant un peu de chlorophylle comme pigment verdâtre ayant attribué au yaourt ferme à faible dose une teinture verte très attractive chez les dégustateurs. Dans une autre étude, Shahbazi & Shavisi (2019) ont constaté aussi que la supplémentation à une faible dose de 1% d'extrait méthanolique d'origan dans le procédé d'élaboration d'un yaourt ferme donnait de meilleures couleurs au produit fini.

2.4.4. Activité antioxydante du yaourt

L'activité antioxydante des denrées alimentaires peut être le résultat de plusieurs mécanismes de réaction. Par conséquent, un seul test antioxydant peut ne pas refléter la capacité antioxydante totale (Muniandy et al., 2016). Dans la présente étude, l'activité antioxydante des yaourts expérimentaux a été évaluée par l'application de deux tests, à savoir le test au DPPH et le test à l'ABTS.

Il est bien reconnu que dans les produits laitiers fermentés, la libération de peptides bioactifs lors de la protéolyse par les bactéries lactiques confère au produit des caractéristiques antioxydantes (Park et Nam, 2015). Cependant, dans la présente étude, de nettes diminutions des valeurs de

cette activité antioxydante en fonction du temps de stockage variable du 1^{er}, au 10^{ème} et 20^{ème} jour ont été constatées dans tous les échantillons de yaourt préparés avec ou sans extrait de menthe poivrée allant respectivement de 53.01, à 49.45 et à 42.17% en moyenne mesurées au test de DPPH et de 53.54, à 35.53 et à 29.59% en moyenne évaluées par le test à l'ABTS. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par **Van Nieuwenhove et al. (2019)** dans une étude portant sur l'enrichissement du yaourt par les graines de grenade et de jacaranda où eux aussi ont constaté une baisse de l'activité antioxydante qui s'est manifestée à partir du 7^{ème} jour de conservation réfrigérée pour les produits supplémentés en graines ainsi que pour le témoin. Cette baisse serait liée à un abaissement du pH, qui se poursuit même dans les conditions de conservation au froid positif, entraînant des changements dans la séquence d'acides aminés de certains peptides avec comme conséquence une perte de leur pouvoir antioxydant (**Mashayekh et al., 2023**).

Dans cette étude, l'ajout de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. aux échantillons de yaourt a entraîné une augmentation significative ($p < 0,01$) du potentiel antioxydant en fonction des doses utilisées, ce qui a considérablement amélioré leur capacité antioxydante tout au long de la période de conservation à 6°C. En effet, l'incorporation de l'extrait de menthe poivrée à une faible dose de seulement 2% a permis de renforcer l'activité antioxydante du yaourt par rapport au témoin au 1^{er} et 20^{ème} jour de stockage, respectivement, de 39.79 et 41.13% selon le test de piégeage du radical DPPH et de 21.75 et 17.69% d'après le test d'ABTS ; alors qu'une supplémentation extrême de 6% d'extrait a entraîné une hausse considérable du pouvoir antioxydant estimé par les deux tests de DPPH et d'ABTS respectivement par rapport au témoin à 50.13 et 62.48% au 1^{er} jour et à 46.8 et 25.72% au 20^{ème} jour. Nos résultats rejoignent ceux de nombreux auteurs qui ont rapporté que l'inclusion au lait avant la fermentation d'extraits de végétaux dont l'*Origanum vulgare* L. (**Dabija et al., 2018**) et des thés vert, noir et blanc (**Muniandy et al., 2016**) permet de renforcer considérablement le pouvoir antioxydant du yaourt obtenu. L'ajout d'extrait aqueux des feuilles de Moringa (**Zhang et al., 2019a**), d'extrait méthanolique de coriandre (**Shariati et al., 2020**), et l'extrait hydroéthanolique d'argel (**Mohamed Ahmed et al., 2021**) ont également fait leurs preuves dans l'amélioration du pouvoir antioxydant du yaourt.

La hausse du potentiel antioxydant constatée dans la présente étude nous semble à la fois très pertinente et convaincante puisque l'extrait analysé ajouté au yaourt est très riche en composants phénoliques dont principalement l'acide rosmarinique (**Noor et al., 2022 ; Kim et al., 2020 ; Ghorbani et al., 2019**), l'hésperidine et la rutine (**Ali et al., 2023**) réputés pour leurs potentiels antioxydants élevés. Ainsi, la consommation du yaourt avant le 10^{ème} jour suivant sa fabrication serait donc plus que souhaitable puisqu'elle permettrait de bénéficier à la fois d'une teneur élevée en bactéries lactiques vivantes à effets probiotiques recherchés (**Van de Water et al., 1999 ; Amirdivani & Baba, 2011**) et d'une activité antioxydante élevée, contribuant ainsi ensemble à la promotion de la santé humaine et à la prévention de certaines maladies du siècle tels les cancers, l'hypercholestérolémie, les maladies neurodégénératives et cardiovasculaires (**Massey, 2001 ; Amirdivani & Baba, 2011**).

Globalement, au cours de toute la période de post acidification de 21 jours de conservation au froid positif de 6°C, les résultats de peroxydation lipidique ont montré un réel recul hautement

significative ($p < 0.01$) des valeurs de TBARS de 1.14, à 0.84, à 0.67, à 0.49 mg MDA/kg de yaourt pour, respectivement, les yaourts ayant reçu 0, 2,4 et 6% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. Ces réponses mettent clairement en évidence le rôle bénéfique de l'ajout de cet extrait dans la préservation des lipides constitutifs du yaourt contre la peroxydation. L'inhibition de plus en plus importante de l'oxydation des acides gras mono et poly insaturés de la fraction lipidique des yaourts expérimentaux est certainement attribuée à la présence dans l'extrait ajouté à proportions variables de composés phénoliques ayant la capacité à agir contre l'oxydation des lipides via trois mécanismes : par piégeage des radicaux libres, par piégeage de carbonyle ou par leur pouvoir chélateur d'ions métalliques (Papuc et al., 2017).

Cependant, ces valeurs ont tendance à augmenter au cours de la conservation au froid des produits expérimentaux; mais d'une manière moins importante dans les yaourts supplémentés d'extrait hydrométhanolique de menthe que le témoin qui a accusé une peroxydation lipidique plus prononcée et ceci même après 20 jours de réfrigération. Cette constatation met fortement en évidence la possibilité de prolonger la durée de conservation du yaourt en y ajoutant l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée comme additif naturel capable de protéger la fraction lipidique constitutive du produit pendant le stockage au froid positif en empêchant la peroxydation des acides gras insaturés. Dans ce contexte, Kabir et al. (2021) ont également rapporté l'utilité que joue l'extrait hydrométhanolique de peau de banane dans le retardement de l'oxydation des lipides dans le yaourt. Les extraits phénoliques d'épillets de palmier dattier (Almusallam et al., 2021b), d'argel (Mohamed Ahmed et al., 2021) et d'algues (O'Sullivan et al., 2016) ont également montré des effets positifs sur la stabilité du yaourt en atténuant le phénomène de peroxydation lipidique.

Ces résultats suggèrent que l'incorporation au yaourt ferme d'un extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L., riche en principaux composés phénoliques permet d'améliorer de manière significative ses propriétés probiotiques et bioactives ainsi que son activité antioxydante lui conférant ainsi un éventuel effet bénéfique pour la santé humaine et une durée de vie plus longue.

2.4.5. Profil lipidique des yaourts

La composition de la matière grasse dans le lait et ses dérivés a de multiples répercussions sur la qualité du produit, notamment sur ses propriétés physiques et sensorielles ainsi que sa valeur nutritionnelle (Paszczyk & Tońska, 2022). Divers groupes d'acides gras, tels que les acides gras à chaîne courte et moyenne, saturés et insaturés, mono et polyinsaturés contenus dans la matière grasse du lait de ruminant, sont susceptibles d'avoir une incidence favorable ou défavorable sur la santé du consommateur (Hanuš et al., 2018 ; Paszczyk & Tońska, 2022).

Dans la présente étude, le contenu en matière grasse totale des préparations de yaourt semble avoir légèrement diminué ($p > 0.05$) en fonction de la période de stockage. Cette constatation corrobore les propos de Alirezalu et al., 2019 et Khalil et al., 2022 selon lesquels la teneur en matière grasse du yaourt diminue relativement au cours de l'entreposage réfrigéré suite à l'action des lipases natives du lait et des bactéries spécifiques du yaourt conduisant à une lipolyse et à des catabolismes lipidiques particuliers ayant un impact substantiel sur la production d'arômes caractéristiques (acétaldéhyde, di-acétyle, acétone, acétoine...etc.) susceptibles d'affecter la qualité et la durée de conservation du produit.

Néanmoins, les yaourts supplémentés en extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. ont montré une faible diminution du taux de matière grasse de seulement 0.01% par comparaison au témoin qui a enregistré une baisse de 0.02% sur une durée de 20 jours de stockage. Ceci peut être expliqué en partie par une atténuation du phénomène de lipolyse et de catabolisme lipidique résultant probablement d'une diminution du nombre de bactéries lactiques sous l'action des composés phénoliques contenus dans l'extrait administré au yaourt et dont l'effet antibactérien contre les bactéries à Gram positif a été confirmé par **Wei et al., 2023**.

Une autre explication très intéressante serait la grande richesse des feuilles de *Mentha piperita* L. à environ 11.64 mg de lipides par gramme de poudre de la plante (**Savych et al., 2021**) et le transfert possible d'une partie de la matière grasse présente dans l'extrait végétal après extraction dans le yaourt dont le contenu lipidique va se trouver relativement renforcé au terme du procédé d'élaboration.

De plus, les résultats de l'analyse du profil des acides gras par GC-FID dans cette étude ont mis en évidence des fluctuations significatives ($p < 0.05$) dans les niveaux de certains acides gras en fonction du temps de réfrigération, tant pour le yaourt témoin que pour celui enrichi avec l'extrait de menthe poivrée. Ces variations sont probablement attribuables aux réactions différenciées des *S. thermophilus* et des *L. bulgaricus*, qui ajustent leur profil lipidique comme mécanisme d'adaptation aux changements environnementaux, notamment l'acidité du milieu (**Tidona et al., 2018 ; Bahrami et al., 2020**).

Pendant toute la durée de conservation au froid et pour tous les échantillons de yaourt analysés, les teneurs en acides gras appartenant au groupe des acides gras saturés (AGS) ont montré une prédominance par rapport aux acides gras insaturés (AGI) dont les acides gras monoinsaturés (AGMI) se sont révélés majoritaires par rapport aux acides gras polyinsaturés (AGPI). Une étude menée sur des yaourts supplémentés avec des décoctions de fenouil et de camomille comme additifs naturels pendant un stockage de 14 jours a dévoilé les mêmes tendances d'abondance en ce qui concerne ces groupes d'acides gras ; AGS > AMI > AGPI (**Caleja et al., 2016**).

Les doubles liaisons des acides gras insaturés constituent des cibles privilégiées pour les espèces réactives de l'oxygène et sont donc plus exposés à la peroxydation des lipides, apportant au produit des saveurs rances indésirables altérant sa qualité organoleptique (**Innosa et al., 2019 ; Dragoevet et al., 2024**). Globalement, l'ajout de l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée n'a pas eu d'effet significatif ($p > 0.05$) sur le contenu en acides gras saturés des yaourts, tandis qu'il s'avère améliorer relativement par rapport au témoin au 20^{ème} jour la teneur en acides gras insaturés (AGI) altérée ($p < 0.01$) au 1^{er} jour de stockage. En effet, au 20^{ème} jours de réfrigération, le taux en acides gras polyinsaturés (AGPI) semble être renforcé dans les yaourts enrichis en extrait d'environ 8.44% de MGT comparativement au témoin ; ce qui est suggéré favorable à la santé du consommateur (**Critselis et al., 2023**). Il est bien établi que les AGPI contribuent à la prévention des risques du cancer, des maladies inflammatoires et d'Alzheimer en diminuant les niveaux de marqueurs plasmatiques de l'inflammation chronique, tels que la CRP (protéine C réactive) et le facteur de nécrose tumorale alpha (**Ferrucci et al., 2006**).

En outre, l'enrichissement du yaourt par l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée, semble significativement ($P < 0.05$) affecter le contenu en acides gras à chaîne courte et moyenne

(AGCCM) (de C4 à C12) du yaourt enrichi qui s'avère dépassé celui du témoin d'une proportion estimée à 0.86% au 1^{er} premier jour de stockage en raison probablement du passage vers le yaourt d'une fraction des lipides contenus dans l'extrait de menthe poivrée comme l'a bien signalé **Savych et al. (2021)**. Cependant, après 20 jours de conservation à 6 °C, le yaourt supplémenté en extrait a montré une teneur plus faible en ce groupe d'acides gras d'environ 0.24% comparativement au témoin. Nous suggérons que les composés phénoliques à fort pouvoir antioxydant (**Lang et al., 2024**) ramenés par l'extrait freinent particulièrement au 20^{ème} jour la peroxydation des AGI et améliore les teneurs AGPI et en AGCCM. La réduction du contenu du yaourt en AGCC est bénéfique aussi bien pour la santé des consommateurs que pour la saveur du produit dans la mesure où ces acides gras sont les plus impliqués dans les maladies coronariennes (**Ebbesson et al., 2015 ; Bianchi et al., 2017**), et certains d'entre eux, notamment les acides butyrique (C4:0), caproïque (C6:0) et caprylique, sont accusés de conférer un goût âcre au yaourt (**Savinova et al., 2022**). D'autre part, **Su et al. (2018)** ont signalé que les acides caprique (C10:0) et laurique (C12:0) sont susceptibles de conférer un goût savonneux au yaourt. Dans notre étude, la teneur de ces acides semble être relativement améliorée au 20^{ème} jour par comparaison au 1^{er} jour de réfrigération après l'ajout d'extrait de menthe poivrée dans le yaourt.

Par ailleurs, il est bien établi que les Oméga-3 et les Oméga-6 font partie des acides gras polyinsaturés indispensables que le corps humain ne peut pas synthétiser. Ils sont reconnus pour leur action régulatrice du métabolisme des lipides chez l'homme, réduisant ainsi le risque de maladies cardiovasculaires et neurologiques, notamment les maladies d'Alzheimer et de Parkinson (**Kerdiles et al., 2017 ; Patel et al., 2022**). Dans la présente étude, l'addition de l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée au yaourt s'avère améliorer d'une manière hautement significative ($P < 0.01$) le taux des oméga-3 dans les yaourts supplémentés en extrait par rapport au témoin d'environ 11.83 et 6%, respectivement au 1^{er} et 20^{ème} jour de conservation à 6°C. Cette augmentation du taux en oméga-3 observée dans les yaourts supplémentés en extrait de menthe pourrait s'expliquer soit par les vertus antioxydantes des composés phénoliques que renferme l'extrait et qui joueraient un rôle protecteur pour ce type d'acide gras d'une éventuelle hydrolyse (**Bakry et al., 2019**), soit par un transfert vers le yaourt d'une portion des oméga-3 propres à l'extrait rajouté. En effet, une recherche menée par **Bouzouina et al. (2016)** sur *Thymelae hirsuta* L. a mis en évidence une association favorable entre les composés chimiques phénoliques et les oméga-3. En outre, (**Savych et al., 2021**) ont mis en évidence par analyse GC-MS la présence d'une proportion importante d'oméga-3 estimée à 2.98 mg/g de poudre de feuilles de *Mentha piperita* L récoltée en Ukraine.

Parmi les principaux acides gras appartenant à ce groupe et détectés dans le yaourt analysé dans la présente étude, l'acide α -linoléique (ALA, C18:3n3) semble être positivement et significativement ($p < 0.01$) influencé par l'ajout de l'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. En effet, les échantillons de yaourt supplémentés en extrait ont présenté une augmentation de la teneur en ALA d'environ 18.64 et 14.96% par rapport au yaourt standard, respectivement, au 1^{er} et au 20^{ème} jour de stockage, offrant donc des vertus santé propre au produit. À ce propos, **Lin et al. (2018)** ont rapporté qu'un régime alimentaire enrichi en ALA permet de réduire le risque de développement de plusieurs maladies telles que les maladies coronariennes, l'infarctus aigu et le cancer. Ils sont aussi reconnus pour leurs effets positifs sur le

système cardiovasculaire (**Fleming et Kris-Etherton, 2014 ; Lin et al., 2018**). L'ALA agit aussi comme précurseur dans la synthèse des acides gras polyinsaturés n-3 (AGPI n-3) tels que l'EPA (acide cis-5, 8, 11, 14, 17-eicosapentaénoïque, C20:5n3) et le DHA (acide cis-4, 7, 10, 13, 16, 19-docosahexaénoïque, C22:6n3) qui sont à l'origine de nombreuses fonctions physiologiques dans l'organisme dont le maintien de la forme et de l'intégrité des membranes cellulaires, le contrôle de processus immunitaires et inflammatoires, ainsi que la régulation du métabolisme des lipides et du glucose (**Lutfi et al., 2023**).

Le taux des oméga-6 s'avère aussi augmenter ($p < 0.05$) légèrement au 20^{ème} jour de stockage dans le yaourt élaboré à l'extrait d'environ 8.61% comparativement au témoin. L'acide linoléique (C18 : 2n6) étant le principal acide gras du groupe des oméga-6 et semble être remarquablement préservé au cours de la conservation par l'ajout de l'extrait riche en composés phénoliques tels que l'acide rosmarinique, l'acide caféique, le lutéoline et l'apigénine dont le fort pouvoir antioxydant protecteur vis-à-vis de certains acides gras a été rapporté par de nombreux chercheurs (**Elansary et al., 2020 ; Kapp et al., 2020 ; Hitl et al., 2021 ; Salamatullah, 2022 ; Bouloumpasi et al., 2024**). Ainsi, après 20 jours de réfrigération, le yaourt à 4% d'extrait de menthe poivrée s'est démarqué par un contenu en AL dépassant celui du témoin d'environ 9.45% (par rapport au témoin).

Enfin, au plan nutritionnel, un rapport $\omega 6:\omega 3$ de 1:1 à 5:1 est considéré comme étant optimal pour la santé des consommateurs (**Lupette & Benning, 2020**). Au 1^{er} comme au 20^{ème} jour de stockage, l'ajout d'extrait de menthe poivrée riche en composés phénoliques à fort pouvoir antioxydant semble améliorer notablement les rapports $\omega 6/\omega 3$ des yaourts qui ont accusé des valeurs respectives de 5.71 et de 5.26 très proches des normes admises.

Conclusion partielle

L'extraction au méthanol aqueux des principaux composés bioactifs d'intérêt de la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) récoltée à Ouargla dans la région saharienne d'Algérie a présenté un rendement d'extraction considérable de 17.51%. L'extrait végétal ainsi obtenu dispose d'une bonne teneur en composés phénoliques totaux (412.32 mg EAG/g EL), principalement constitués à 93.80% d'acides phénoliques, parmi lesquels l'acide rosmarinique s'est révélé être le plus abondant par sa teneur de 346.88 mg/g d'extrait sec. L'extrait est également fortement pourvu en flavonoïdes totaux (227.65 mg EQ/g EL) dont les flavones (à 73.97%) apparaissent majoritaire, bien que des flavanones et des flavonols et isoflavones ont été également recensés.

Cette composition chimique riche et variée en composés bioactifs a notamment conféré à l'extrait un potentiel antioxydant appréciable, évalué par les tests de DPPH et d'ABTS par des valeurs d'IC50 de 3.2 et 2.54 mg/ml, respectivement, mais également par un fort pouvoir bactéricide contre les deux bactéries lactiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, spécifiques des yaourts. Toutefois, ce pouvoir antibactérien vis-à-vis de ces deux bactéries lactiques n'est apparu qu'à partir d'une concentration d'extrait de 40 %.

La supplémentation du yaourt avec une dose minimale de 2% d'extrait de la plante étudiée a permis d'augmenter considérablement l'activité antioxydante du produit fini et d'assurer une protection significative de sa matière grasse, tout en préservant sa qualité physico-chimique et microbiologique au cours de son stockage à 6°C.

La composition en acides gras s'est révélée nettement améliorée par l'ajout d'une proportion de 4% d'extrait hydrométhanolique au yaourt, notamment en oméga-3 dont particulièrement l'acide α -linoléique qui a enregistré une hausse d'environ 18.64 et 14.96% par rapport au témoin, respectivement au 1^{er} et au 20^{ème} jour de conservation. Au 20^{ème} jour de stockage, comparativement au témoin, le taux en oméga-6 s'est avéré, éventuellement, augmenter ($p < 0.05$) légèrement d'environ 8.61% dans le yaourt élaboré à 4% d'extrait dont les teneurs surtout en acide linoléique (C18 : 2n6) ont été aussi moins altérées pendant cette période. Par ailleurs, tant au 1^{er} qu'au 20^{ème} jour de stockage, l'incorporation de l'extrait hydrométhanolique de menthe poivrée a significativement ($p < 0.01$) rapproché les rapports $\omega 6/\omega 3$ des yaourts des normes recommandées comprises entre 1:1 et 5:1.

Concernant l'évaluation sensorielle, les panélistes ont apprécié le yaourt contenant 2% d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L., au même titre que le témoin pour tous les critères organoleptiques examinés sauf pour le critère odeur ou le yaourt préparé à 4% d'extrait a présenté de meilleurs résultats.

Chapitre III

*Effets d'ajout d'extrait
aqueux de Mentha piperita L.
sur la qualité d'un yaourt étuvé*

Chapitre III : Effets d'ajout d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sur la qualité d'un yaourt étuvé.

1 .Résultats

1.1. Screening phytochimique de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L.

Les résultats du screening phytochimique de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sont présentés dans le (Tableau 36). La macération des parties aériennes de la plante objet de la présente étude dans l'eau comme solvant d'extraction a présenté un rendement en concentré bioactif important évalué à 19.05%. Les analyses ont montré dans l'extrait une présence notable (++) de phénols et d'alcaloïdes ainsi qu'une faible proportion (+) de flavonoïdes, de tanins catéchiques, d'anthocyanes, de coumarines, de stérols, de saponines et de sucres réducteurs. Par contre, aucune présence d'anthocyanes, de leucoanthocyanes, de triterpènes et de quinones n'a été détectée dans l'extrait expérimental.

Tableau 36 : Principales substances phytochimiques recensées dans l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L.

Composés phytochimiques	Tests/Réaction/Réactif	Résultat	Rendement d'extraction
Phénols	FeCl ₃	++	19.05%
Alcaloïdes	Réactif de Dragendorff	++	
	Réactif de Bouchardat	+	
	Réactif de Mayer & Wagner	+	
Flavonoïdes	AlCl ₃	+	
Tannins galliques catéchiques	FeCl ₃	++	
	FeCl ₃	-	
Anthocyanes	NH ₄ OH	+	
Leucoanthocyanes	Alcool isoamylique	-	
Coumarines	NaOH	+	
Stérols	Test de Liebermann-Burchard	-	
triterpènes	Test de Liebermann-Burchard	-	
Quinones	NH ₄ OH	-	
Saponine	Test de mousse	+	
Sucres réducteurs	Solution de Fehling	+	

+++ : réaction franchement positive ; ++ : réaction positive ; + : réaction moyennement positive ; ± : réaction louche ; - : réaction négative.

1.2. Composés bioactifs de l'extrait

Les résultats du dosage des phénols totaux, des flavonoïdes totaux et des tanins condensés sont représentés dans le (Tableau 37).

L'extrait aqueux des parties aériennes composées principalement par des feuilles de menthe poivrée a révélé des teneurs en composés phénoliques totaux estimées à 12.13 mg EAG/ml

d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. (*EAMP*) et qui correspondent à 1.82 g EAG/100g de poudre de *Mentha piperita* L. (*PMP*) et à 93.31 mg EAG/g d'extrait lyophilisé (*EL*). Quant aux flavonoïdes totaux, ils ont été estimés à 10.89 mg EQ/ml d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., ce qui représente 1.65 g EQ/100g *PMP* et 85.83 mg EQ/g *EL*.

Enfin, la teneur en tanins condensés de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. évaluée à 1.13 mg EC/ml d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., et qui équivaut à 0.17 g EC/100g *PMP* et à 7.72 mg EC/g d'extrait lyophilisé (*EL*).

Tableau 37. Principaux composés phénoliques de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L.

Composés bioactifs	Echantillons	Teneurs
Composés phénoliques totaux	Poudre de la plante (g EAG/100g <i>PMP</i>)	01.82 ± 0.09
	Extrait liquide (mg EAG/ml <i>EAMP</i>)	12.13 ± 0.33
	Extrait lyophilisé (mg EAG/g <i>EL</i>)	93.31 ± 3.56
Flavonoïdes totaux	Poudre de la plante (g EQ/100g <i>PMP</i>)	01.65 ± 0.08
	Extrait liquide (mg EQ/ml <i>EAMP</i>)	10.89 ± 0.53
	Extrait lyophilisé (mg EQ/g <i>EL</i>)	85.83 ± 3.42
Tannins condensés	Poudre de la plante (g EC /100g <i>PMP</i>)	00.17 ± 0.02
	Extrait liquide (mg EC/ml <i>EAMP</i>)	01.13 ± 0.10
	Extrait lyophilisé (mg EC/g <i>EL</i>)	07.72 ± 0.86

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égal à 03 (n = 3); *PMP* :poudre de menthe; *EAMP* : extrait aqueux de *Mentha piperita* L.; *EL* :extrait lyophilisé; EAG: équivalent en acide gallique; EQ: équivalent en quercétine; EC: équivalent en Catéchine.

1.3. Profil en composés phénoliques de l'extrait

La Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS) appliquée à l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. a détecté la présence de 22 substances phytochimiques parmi les 56 substances phytochimiques de référence utilisées (**Tableau 38 ; Figure 2**).

L'extrait a révélé une présence marquée d'acides phénoliques, estimés à 110.049 mg/g d'extrait sec et qui correspond à 89.78% du total des composés bioactifs identifiés, avec une nette prédominance de l'acide rosmarinique traduit par une proportion de 78.81% du total des acides phénoliques quantifiés, 70.83% du total des composés secondaires identifiés, correspondant à une teneur de 86.73 mg/g d'extrait sec (**Figure 35**).

Quant aux flavonoïdes dont la fraction totale a été estimée à 6.96% des substances bioactives détectées, ils ont été principalement constitués de flavones à 76.36%, de flavanones à 20.39%, de flavonols à 3.15% et d'isoflavone (génistéine) à 0.09% du total des flavonoïdes (**figure 35**).

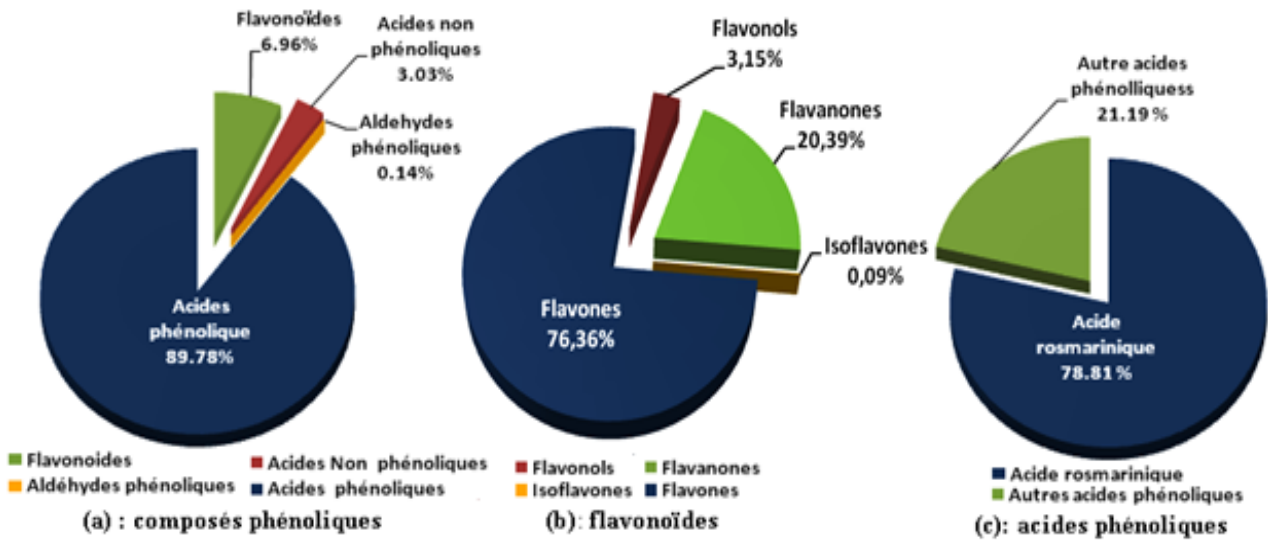
Par ailleurs, l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. s'avère très riche en acide quinique qui a occupé une proportion de 15.01% de la totalité des composés quantifiés avec une teneur de 18.38 mg/g d'extrait sec. Cet acide vient en deuxième position en terme d'abondance après l'acide rosmarinique, suivi par l'acide fumarique (acide non phénolique) et de l'acide caféique qui ont

accusé des teneurs de 3.714 et 3.089 mg/g d'extrait sec soit des proportions successives de 3.03 et 2.52% des composés totaux détectés. Les deux flavones cyranoside et lutéoline (2.61 et 1.38 mg/g d'extrait sec) ont été estimés à environ 2.13 et 1.13% des composé bioactifs totaux. L'hésperidine (une flavanone), la cosmosiine et l'acacétine (des flavones) ainsi que l'acide chlorogénique (acide phénolique) ont été également identifiées mais à des proportions plus faibles ; 1.08, 0.94 , 0.74 et 0.65% des composés bioactifs . D'autres composés appartenant à différentes classes de composés phénoliques (flavonoïdes, d'acides phénoliques et aldéhydes phénoliques) ont été retrouvés à des proportions de moins de 0.5% des composés bioactifs totaux dont : acide protocatechuique, apigénine, acide *p*-coumarique, héspérétine, aldéhyde protocatéchiq, naringénine, Kaempferol , Rutine, isoquercitrine, acide gentisique, génistéine et chryisine.

Tableau 38. Profile en principaux composés bioactifs de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. identifiés par LC-MS/MS.

Composés identifiés		RT ^a (min)	LOD/LOQ (µg/L) ^f	U ^g	Teneurs (mg/g ES)
Acides organiques	Acide Fumarique	03.90	135.7/167.9	0.0091	03.714 ± 0.34
	Acide Quinique	03.00	25.7/33.3	0.0372	18.380 ± 0.68
	Acide Protocatéchiq	06.80	21.9/38.6	0.0350	00.582 ± 0.02
Acides phénoliques	Acide Gentisique	08.30	18.5/28.2	0.0167	00.046 ± 0.00
	Acide Chlorogénique	08.40	13.1/17.6	0.0213	00.799 ± 0.02
	Acide Cafféque	12.10	7.7/9.5	0.0152	03.089 ± 0.05
	Acide <i>p</i> -Coumarique ^l	17.80	25.9/34.9	0.0194	00.423 ± 0.01
	Acide Rosmarinique	26.60	16.2/21.2	0.0130	086.730 ± 1.13
Flavones	Cyranoside	23.70	12.1/16.0	0.0366	02.611 ± 0.09
	Cosmosiine	28.20	6.3/9.2	0.0083	01.151 ± 0.01
	Lutéoline	36.70	2.6/4.1	0.0313	01.381 ± 0.04
	Chryisine	40.50	1.5/2.8	0.0323	00.005 ± 0.00
	Acacétine	40.70	1.5/2.5	0.036	00.911 ± 0.03
	Apigénine	38.20	1.3/2.0	0.0178	00.447 ± 0.01
Isoflavones	Genistéine	36.90	3.7/5.3	0.0337	00.008 ± 0.00
Flavanones	Hésperidine	25.80	19.0/26.0	0.0335	01.317 ± 0.04
	Naringénine	35.90	2.6/3.9	0.0392	00.100 ± 0.00
	Héspérétine	36.70	2.6/3.9	0.0392	00.321 ± 0.00
Flavonols	Rutine	25.60	15.7/22.7	0.0247	00.089 ± 0.00
	Isoquercitrine	25.60	8.7/13.5	0.0220	00.087 ± 0.00
	Kaempferol	37.90	10.2/15.4	0.0212	00.092 ± 0.00
Aldéhyde phénolique	Aldéhydes Protocatéchiq	08.50	15.4/22.2	0.0396	00.169 ± 0.01

Les résultats sont représentés en valeurs moyennes et écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03; RT^a : Temps de rétention; LOD/LOQ (µg/L)^f: Limite de détection/quantification; U^g (%) : pourcentage d'incertitude relative à un niveau de confiance de 95% (k = 2).



+

Figure 35. Proportions en composés phytochimiques détectés par LC-MS/MS dans l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L.

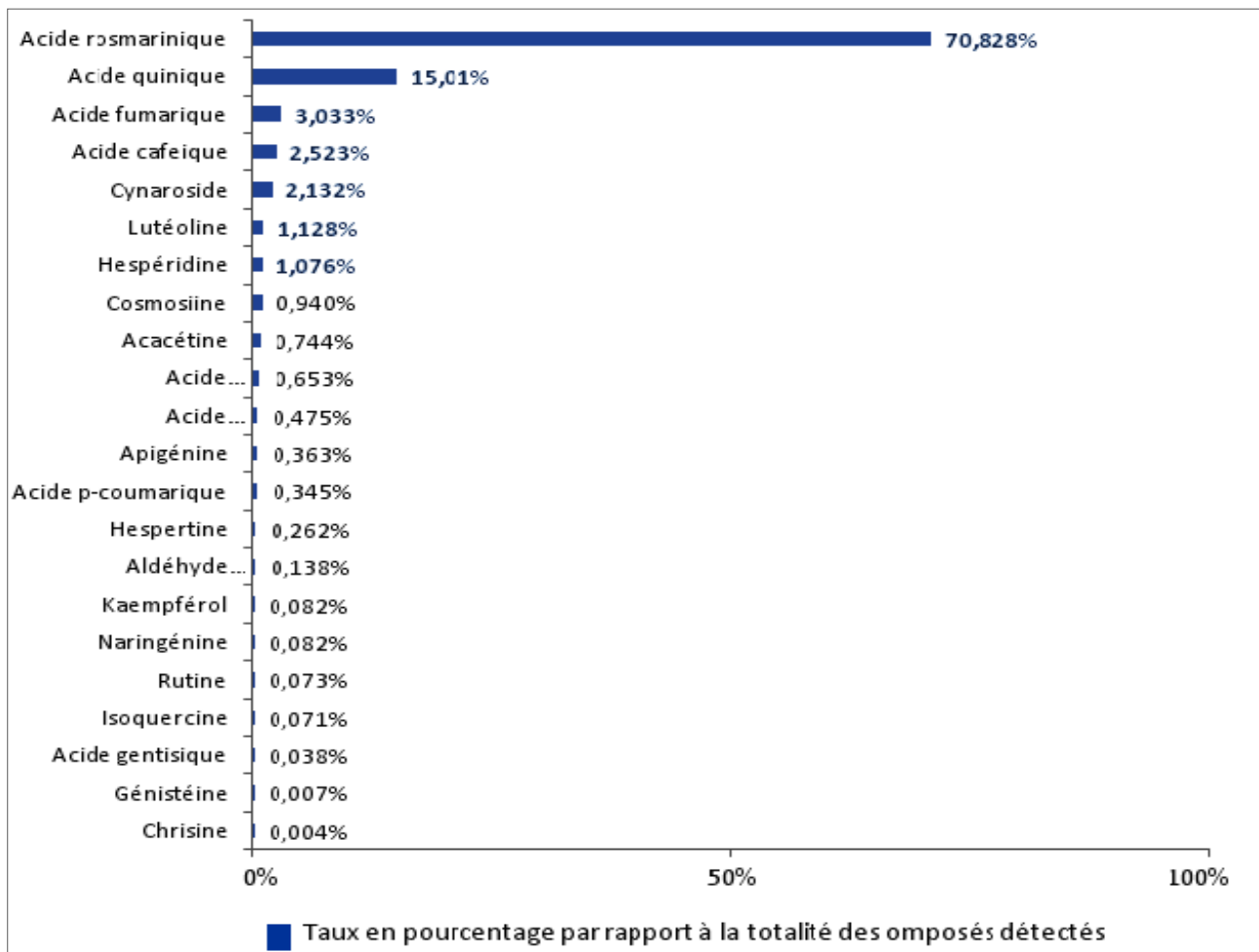


Figure 36. Taux (%) en composés bioactifs de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. détectés par LC-MS/MS.

1.4. Activité antioxydante

Les tests de piégeage des radicaux DPPH et ABTS par l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. ont montré des valeurs IC₅₀ respectivement de 5.37 et 4.36 mg d'extrait aqueux lyophilisé/ml, supérieure à celles obtenues avec l'acide ascorbique (0.16 et 1.36 mg d'acide ascorbique/ml) et la quercétine (0.03 et 1.17 mg de quercétine/ml) (**Tableau 39** et **Figure 37**).

Tableau 39. Evaluation de l'activité antioxydante de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., en comparaison à l'ascorbate et à la quercétine.

Extraits de la plante et standards	IC ₅₀ (mg/ml)	
	DPPH	ABTS
Extrait lyophilisé (mg de lyophilisa d' <i>EAMP</i>)	05.37 ^a ± 0.07	04.36 ^a ± 0.14
Acide ascorbique (mg d'acide ascorbique/ml)	00.16 ^b ± 0.07	01.36 ^b ± 0.03
Quercétine (mg de quercétine/ml)	00.03 ^c ± 0.00	01.17 ^c ± 0.04

Les résultats sont exprimés en moyennes, suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n égal à 3 (n=03) ; IC₅₀ : concentration d'extrait ou de standard nécessaire pour inhiber 50% des radicaux DPPH ou ABTS. Un effet hautement significatif P < 0.01 du facteur étudié a été enregistré ; a ,b,c : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman- Keuls.

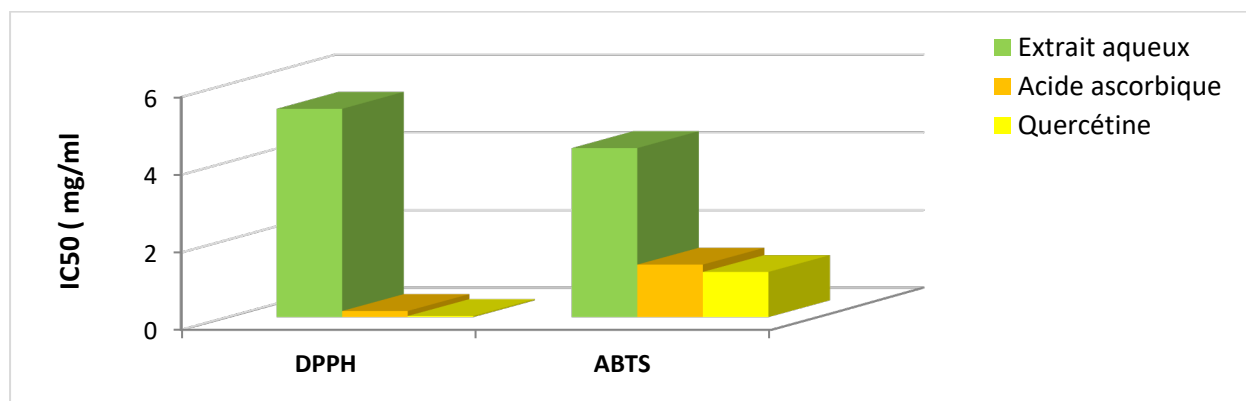


Figure 37. Histogrammes des IC₅₀ de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., de l'acide ascorbique et de la quercétine obtenus par les tests aux DPPH et à l'ABTS.

1.5. Activité antibactérienne

1.5.1. Test de croissance

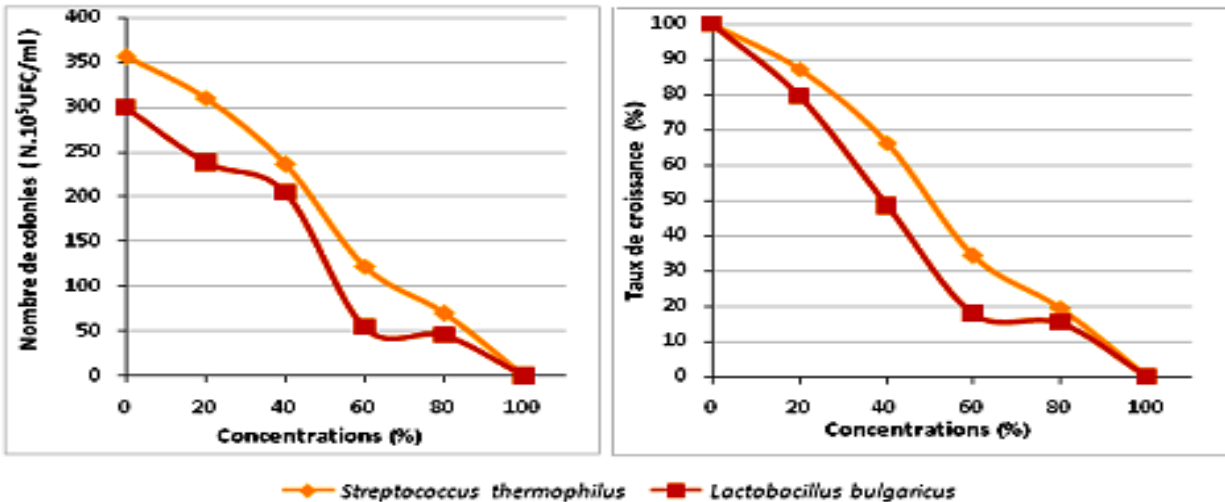
Les résultats du test de croissance des deux germes *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* sont représentés dans le (**Tableau 40**) et la (**Figures 38**).

L'augmentation progressive de 0, à 20, à 40 à 60 et à 80% des concentrations de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., semble exercer une influence négative sur la croissance des deux bactéries lactiques spécifiques au yaourt dont le nombre de colonies a respectivement et significativement ($p < 0.01$) reculé de $356 \cdot 10^5$, à $310 \cdot 10^5$, à $236 \cdot 10^5$, à $122 \cdot 10^5$ et à $70 \cdot 10^5$ UFC/ml correspondant à des taux de croissance de 100, 87.07, 66.29, 34.27, et 19.66% pour les *S.thermophilus* et de $300 \cdot 10^5$, à $238 \cdot 10^5$, à $145 \cdot 10^5$, à $54 \cdot 10^5$ et à $46 \cdot 10^5$ UFC/ml équivalent à des taux de croissance de 100, 79.33, 48.33, 18 et 15.33%, pour *L.bulgaricus*. Le développement des deux bactéries étudiées a été totalement anéanti en présence de l'extrait queux pur concentré à 100%.

Tableau 40. Effets de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sur la croissance des bactéries spécifiques du yaourt.

Espèces bactériennes	Paramètres	Concentrations d'extrait aqueux de <i>Mentha Piperita</i> L.						Valeur de p
		0%	20%	40%	60%	80%	100%	
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Nx10 ⁵ UFC/ml	356 ^a	310 ^b	236 ^c	122 ^d	70 ^e	00 ^f	p<0.01
	Taux de croissance(%)	100 ^a	87.07 ^b	66.29 ^c	34.27 ^d	19.66 ^e	00 ^f	
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Nx10 ⁵ UFC/ml	300 ^a	238 ^b	145 ^c	54 ^d	46 ^e	00 ^f	p<0.01
	Taux de croissance(%)	100 ^a	79.33 ^b	48.33 ^c	18 ^d	15.33 ^d	00 ^e	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes avec un nombre de répétitions n= 3 ; N : nombre de colonies ; UFC : unité formant colonie ; P : seuil de probabilité ; P < 0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (concentrations en extrait aqueux de *Mentha piperita* L.) ; a, b, c ... etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls.

**Figure 38.** Effets de l'extrait aqueux de *Mentha Piperita* L. sur la croissance (en UFC/ml) et sur le taux de croissance (en %) des germes spécifiques du yaourt.

1.5.2. Diamètres d'inhibition

Les diamètres des zones d'inhibition des deux ferments lactiques spécifiques au yaourt provoqués par les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sont présentés dans le (Tableau 41) et la (Figure 39).

L'analyse de la variance a révélé une augmentation significative ($p < 0.01$) des diamètres d'inhibition en fonction des concentrations d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. Des halos d'inhibition ont été détectés à partir d'une concentration d'extrait de 40% pour les deux germes, soit 7.17 et 7.33 mm correspondant à des taux d'inhibition de 35.39 et 21.99% enregistrés, respectivement pour *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. Ces zones d'inhibition se sont étendues à 7.50, à 10.33 et à 12 mm de diamètre correspondant à des taux de croissance de 34.61, 47.67 et 55.37% chez *Streptococcus thermophilus* et à 8.63, à 11.65, et à 14.63 mm correspondant à des taux de croissance de 25.89, 34.95 et 43.89% chez *Lactobacillus*

bulgaricus pour des concentration variables de 60, 80 et 100%, respectivement. Tandis qu'aucune zones d'inhibition n'a été observées à une concentration d'extrait de 20% pour les deux bactéries lactiques étudiés. Toutefois, tous les diamètres d'inhibition engendrés par les différentes concentrations de l'extrait testés restent plus faibles à ceux provoqués par la Gentamycine ; 21.67 mm chez *Streptococcus thermophilus* et 33.33 mm chez *L.bulgaricus*.

Tableau 41. Effet de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sur les variations des zones et des taux d'inhibition des germes spécifiques du yaourt.

Bactéries lactiques	Paramètres	Concentration d'extrait Aqueux de <i>Mentha piperita</i> L.					Genta.	Effet des concentrations de l'extrait
		20%	40%	60%	80%	100%		
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Diamètres d'inhibition (mm)	00 ^d	07.17 ^d ± 0.28	07.50 ^d ± 0.00	10.33 ^c ± 0.57	12.00 ^b ± 0.1	21.67 ^a ± 2.08	p<0 .01
	Taux d'inhibition(%)	00 ^e	35.08 ^d	34.61 ^d	47.67 ^c	55.37 ^b	100 ^a	
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Diamètres d'inhibition (mm)	00 ^e	07.33 ^e ± 0.20	08.63 ^d ± 0.32	11.65 ^c ± 0.66	14.63 ^b ± 0.50	33.33 ^a ± 0.57	p<0 .01
	Taux d'inhibition(%)	00 ^e	21.99 ^e	25.89 ^d	34.95 ^c	43.89 ^b	100 ^a	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes avec un nombre de répétitions n= 3 ; P < 0.01 effet hautement significatif du facteur étudié (concentrations en extrait aqueux de *Mentha piperita* L.); Genta : Gentamycine ; a ,b, c ... etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls.

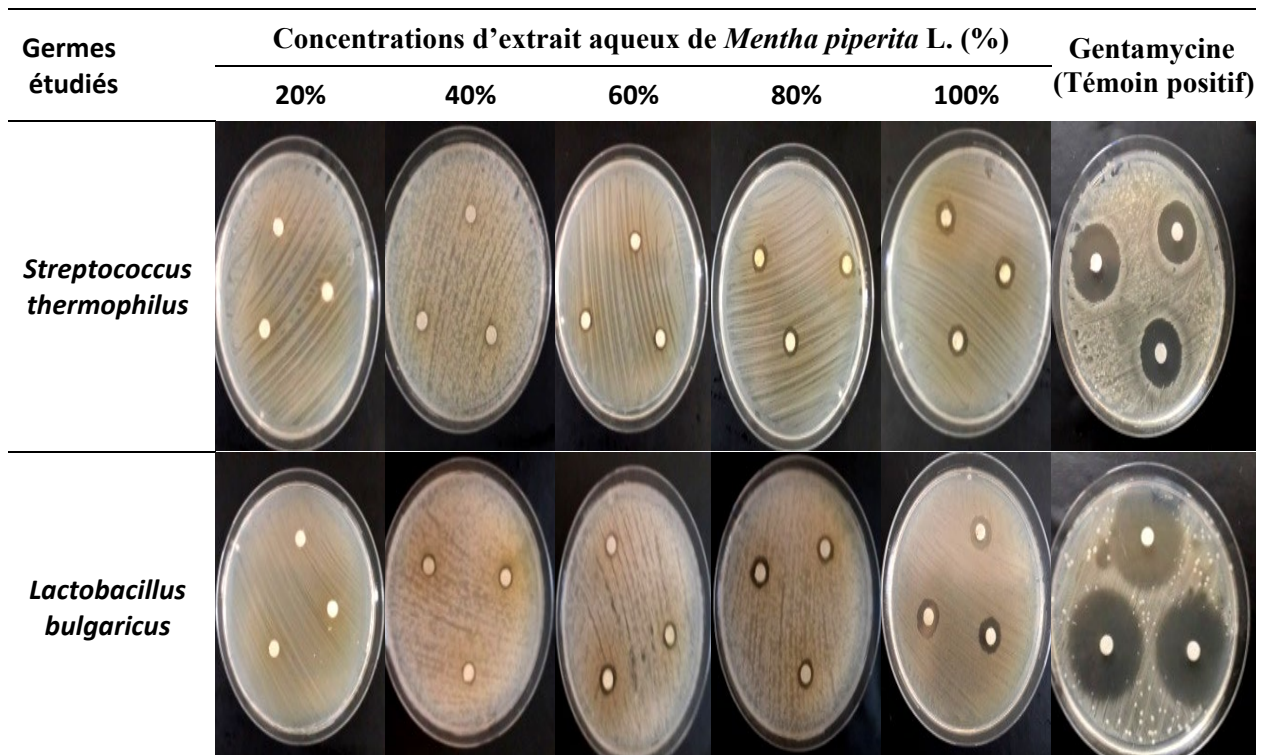


Figure 39. Zones d'inhibition entraînées par les différentes concentrations d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. et de la Gentamycine chez les germes spécifiques du yaourt.

1.5.3. Concentrations Minimales Inhibitrices (CMI)

Les résultats des mesures de la turbidité induite par la croissance des bactéries spécifiques du yaourt sont indiqués dans le (Tableau 42).

Il apparaît que ces bactéries peuvent se développer selon des taux de croissance (S) estimés à 82.61% et 45% respectivement pour *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, à une concentration de 20% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L.

Toutefois, ces taux de croissance s'avèrent diminuer à 76.08 et 15.38% pour *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, respectivement, pour une concentration d'extrait de 40%. A partir de 60% d'extrait de menthe poivrée aucune croissance de ces deux germes n'a été observée. Cette dernière concentration a été retenue comme étant la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) des deux germes étudiés.

Tableau 42. Evaluation des CMI de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des bactéries starters du yaourt.

Bactéries lactiques	Mesures	Concentrations d'extrait hydro-méthanolique de <i>Mentha Piperita</i> L (%)					
		Témoin (0%)	20%	40%	60%	80%	100%
<i>Streptococcus thermophilus</i>	di (DO)	0.01	0.36	0.24	0.25	0.45	0.64
	df (DO)	0.06	0.40	0.28	0.25	0.45	0.55
	df-di (DO)	0.05	00.04	0.04	-0.01	-0.01	-0.16
	Df-Di (DO)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	S (%)	100%	82.61%	76.08%	0%	0%	0%
CMI = 60%							
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	di (DO)	0.04	0.23	0.47	0.82	0.99	1.37
	df (DO)	0.10	00.25	0.27	0.52	0.99	1.36
	df-di (DO)	0.06	0.03	0.01	-0.003	-0.06	-0.09
	Df-Di (DO)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	S%	100%	45%	15.38%	0%	0%	0%
CMI = 60%							

CMI: concentration Minimale Inhibitrice ; S:Taux de survie du microorganisme en%; df-di: différence de densité optique de la solution d'extrait de Menthe ensemencée au germe étudié avant et après incubation à 37°C durant 24 heures; Df-Di : différence entre les densités optiques avant et après incubation du témoin (0%) sans extrait phénolique et ensemencé au germe étudié.

1.5.4. Concentrations Minimales Bactéricides (CMB)

Les résultats illustrés dans la (Figure 40) dévoilent clairement que l'extrait préparé à 60% a permis la croissance, après culture sur milieu MH solide, des deux bactéries spécifiques du yaourt dont *S.thermophilus* et *L.bulgaricus*, à un nombres de colonies inférieurs ou égal à ceux

observées à la dilution de 10^{-4} de chaque solution mère en laissant au moins 0.01% des cultures bactériennes vivantes.

Il en ressort que cette concentration de 60% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. correspond à la concentration minimale bactéricide (CMB) pour les deux bactéries étudiées.

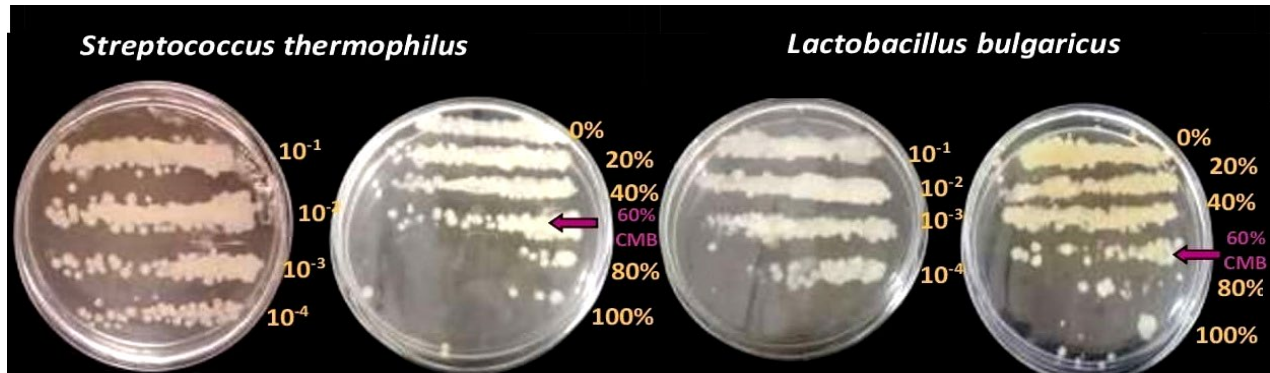


Figure 40. Evaluation des CMB de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L vis-à-vis des germes spécifiques du yaourt.

1.5.5. Types d'inhibition

Le rapport CMB/CMI calculé et qui est inférieur à 2 à la fois pour *S.thermophilus* et *L.bulgaricus*, a clairement montré que l'effet inhibiteur exercé par l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des deux bactéries spécifiques du yaourt est de type bactéricide (**Tableau 43**).

Tableau 43. Type d'inhibition de l'extrait aqueux de *Mentha Piperita* L. contre les germes spécifiques du yaourt.

Espèces bactériennes	CMI	CMB	CMB /CMI	Effet inhibiteur
<i>Streptococcus thermophilus</i>	60%	60%	1	Bactéricide
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	60%	60%	1	Bactéricide
	Normes (Denis et al., 2011)	{ CMB/CMI ≤ 2 (effet bactéricide) { CMB/CMI ≥ 2 (effet bactériostatique)		

1.6. Qualité du yaourt à l'extrait de menthe

1.6.1. Viabilité des bactéries starters du yaourt

Au cours de l'expérimentation, les résultats du dénombrement des *S.thermophilus* ont montrés dans les yaourts expérimentaux un développement croissant significatif ($p < 0.01$) en fonction du temps allant de $33 \cdot 10^5$ à $151 \cdot 10^5$ UFC/ml, en moyennes, du début jusqu'à la fin de la fermentation et de $275 \cdot 10^5$ à $301 \cdot 10^5$ UFC/ml, en moyennes, du 7^{ème} au 21^{ème} jour de la période de post acidification. Toutefois, l'ajout de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. à des taux de 0, 2, 4 et 6% au yaourt semble affecter significativement ($p < 0.01$) le nombre de ces germes qui a montré une décroissance importante de $186 \cdot 10^5$, à $185 \cdot 10^5$, $131 \cdot 10^5$ et à $102 \cdot 10^5$ UFC/ml, en

moyennes, à la 4^{ème} heure de fermentation et de 338 10⁵, à 302 10⁵, 294 10⁵ et à 269 10⁵ UFC/ml, en moyennes, au 21^{ème} jour de la période de post-acidification.

A l'instar des *S.thermophilus*, les résultats du dénombrement des *L.bulgaricus* ont révélé une croissance progressive et proportionnelle au temps dans tous les échantillons de yaourt allant de 14 10⁵ à 92 10⁵ UFC/ml, en moyennes, au début et après 4 heures de fermentation et de 165 10⁵ à 209 10⁵ UFC/ml, en moyennes, au 7^{ème} et au 21^{ème} jour de post-acidification.

En revanche, le développement de cette bactérie lactique semble être inversement proportionnel ($p<0.01$) aux taux d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. ajoutés au yaourt. En effet, la prolifération de ce germe dont le nombre a diminué significativement ($p<0.01$) de 51 10⁵, à 44 10⁵ ; à 39 10⁵ et à 33 10⁵ UFC/ml au cours de la fermentation, et de 230 10⁵, à 226 10⁵, à 171 10⁵ et à 136 10⁵ UFC/ml pendant les 21 jours d'entreposage au froids positif, pour des doses d'extraits variables de 0, 2, 4 et 6% dans les produits, respectivement (**Tableau 44 et Figure 41**).

Tableau 44. Evolution du nombre (N 10⁵ UFC/ml) des *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* dans les yaourts étuvés additionnés d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post-acidification.

Paramètres	Périodes	Taux d'incorporation (%) d' <i>EHEMP</i> (<i>F1</i> × <i>F2</i>)				Moyennes (<i>F1</i>)	<i>Effet</i> <i>F1</i>	<i>Effet</i> <i>F2</i>	<i>Effet</i> Int. <i>F1</i> × <i>F2</i>
		0%	2%	4%	6%				
<i>S. thermophilus</i>	Fermentation	0h	033 ^e	033 ^e	033 ^e	033 ^e	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.01$
		2h	055 ^d	055 ^d	053 ^d	052 ^d			
		4h	186 ^a	185 ^a	131 ^b	102 ^c			
	Moyennes (<i>F2</i>)		91 ^a	91 ^a	72 ^b	62 ^c	-		
	Post acidification	7J	320 ^c	277 ^f	264 ^g	238 ⁱ	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.01$
		14J	330 ^b	291 ^e	272 ^f	254 ^h			
		21J	338 ^a	302 ^d	294 ^e	269 ^{fg}			
Moyennes (<i>F2</i>)		329 ^a	290 ^b	277 ^c	254 ^d	-			
<i>L. bulgaricus</i>	Fermentation	0h	014 ^f	014 ^f	013 ^f	013 ^f	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.01$
		2h	020 ^e	021 ^e	020 ^e	022 ^e			
		4h	120 ^a	097 ^b	083 ^c	066 ^d			
	Moyennes (<i>F2</i>)		51 ^a	44 ^b	39 ^c	33 ^d	-		
	Post acidification	7J	196 ^b	195 ^b	164 ^d	103 ^c	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.01$
		14J	245 ^a	240 ^a	167 ^d	141 ^d			
		21J	248 ^a	244 ^a	181 ^c	163 ^d			
Moyennes (<i>F2</i>)		230 ^a	226 ^a	171 ^b	136 ^d	-			

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes, avec un nombre de répétitions n=03; h: heures; J: jour; N: nombre de colonies; UFC: unité formant colonie; ml: millilitre; *F1*: facteur périodes; *F2*: facteur concentrations d'extrait incorporées; *F1* × *F2*: interaction des deux facteurs (périodes et concentrations d'extrait); $p<0.01$: effet hautement significatif du facteur étudié; *S. thermophilus*: *Streptococcus thermophilus*; *L. bulgaricus*: *Lactobacillus bulgaricus*; a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls.

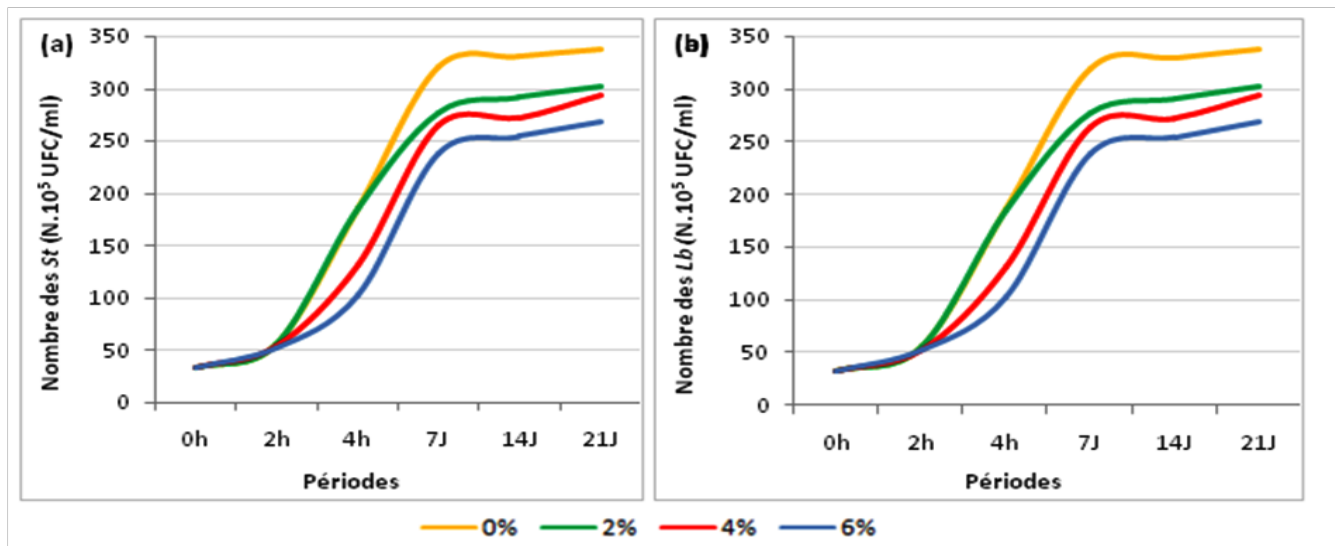


Figure 41. Evolution du nombre ($N.10^5$ UFC/ml) des *Streptococcus thermophilus* (*St*) et *Lactobacillus bulgaricus* (*Lb*) dans les yaourts enrichis d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.

1.6.2. Qualité physicochimique

L'évolution de la qualité physicochimique des yaourts expérimentaux additionnés ou non d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post-acidification est donnée dans le (Tableau 45) et illustrés dans la (Figure 42).

Les résultats ont montré une régression progressive mais significative ($p < 0.01$) des valeurs de pH pour tous les laits fermentés préparés passant de 6.43, à 5.38 et à 4.80 en moyennes au temps zéro, après 2 heures et 4 heures de fermentation, et qui continuent à diminuer pendant la période de post acidification pour atteindre 4.57, 4.45 et 4.26 en moyennes au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de post acidification, respectivement. En fonction des doses d'extrait de *Mentha piperita* L. intégrées variables de 0, à 2, à 4 et à 6% le pH des yaourts a enregistré des augmentations significatives ($p < 0.01$) de 5.41, à 5.48, à 5.58 et à 5.67 en moyennes, pendant les 4 heures de fermentation, et de 4.37, à 4.41, à 4.44 et à 4.48 durant la période de post acidification, successivement.

L'acidité au contraire semble évoluer de façon inverse au pH avec des valeurs qui ont augmenté significativement ($p < 0.01$) en fonction du temps de 18.34 à 78.60 °D au début et au terme de la fermentation et de 82.66 à 95 .05 °D du 7^{ème} au 21^{ème} jour de post-acidification. De plus, la supplémentation du yaourt avec l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. à des doses variables de 0 à 6% a sensiblement ($p < 0.01$) affecté son acidité qui a diminué respectivement de 91.42 à 84.5 °D en moyennes au cours de la période de post-acidification.

En ce qui concerne la viscosité, les résultats ont montré une croissance significative ($p < 0.01$) et proportionnelle en fonction du temps pour tous les échantillons de yaourt préparés et qui s'est traduit par des valeurs ayant varié, respectivement, de 0.88, à 16.56 et à 45.22 m^2/s en moyennes à 0, 2 et 4 heures de fermentation, et de 60.79, à 70.87 et à 76.16 m^2/s en moyenne au 7^{ème}, 14^{ème} et 20^{ème} jour de post-acidification. Par ailleurs, un effet hautement significatif ($P < 0.01$) des taux

d'extrait de menthe ajoutés aux yaourts expérimentaux (0 à 6%) a été observé sur la viscosité qui a diminué d'une manière proportionnelle ($P < 0.01$) de 52.33 à 35.16 m^2/s après 4 heures de fermentation et de 85.30 à 59.60 m^2/s au 21^{ème} jour de stockage (**Tableau 45 ; Figure 42**).

Tableau 45. Effet de l'incorporation d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. à différentes concentrations sur les variations du pH, d'acidité ($^{\circ}D$) et de la viscosité (m^2/s) d'un yaourt étuvé.

Paramètres	Périodes		Taux d'incorporation (%) d'extrait aqueux de <i>Mentha Piperita</i> L. (Int. $F1 \times F2$)				Moyennes ($F2$) \pm ES	Effet $F1$	Effet $F2$	Int. $F1 \times F2$
			0%	2%	4%	6%				
pH	Fermentation	0h	06.43 ^a \pm 0.01	06.44 ^a \pm 0.01	06.42 ^a \pm 0.03	06.43 ^a \pm 0.02	06.43^a\pm0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		2h	05.22 ^d \pm 0.02	05.31 ^{cd} \pm 0.04	05.42 ^c \pm 0.03	05.58 ^b \pm 0.04	05.38^b\pm0.03			
		4h	04.58 ^e \pm 0.03	04.71 ^f \pm 0.02	04.91 ^e \pm 0.04	05.02 ^e \pm 0.04	04.80^e\pm0.09			
	Moyennes ($F1$) \pm ES	05.41^d\pm0.02	5.48^c\pm0.02	5.58^b\pm0.03	05.67^a\pm0.11	-				
	Post acidification	7J	04.52 ^d \pm 0.01	04.57 ^c \pm 0.07	04.59 \pm 0.01	04.61 ^a \pm 0.01	04.57^a\pm0.03			
14J		04.38 ^e \pm 0.02	04.45 ^d \pm 0.02	04.48 ^d \pm 0.02	04.50 ^c \pm 0.02	04.45^b\pm0.02				
21J		04.21 ^e \pm 0.02	04.22 ^e \pm 0.02	04.26 ^f \pm 0.02	04.33 ^e \pm 0.03	04.26^c\pm0.02				
Moyennes ($F1$) \pm ES	04.37^c\pm0.01	04.41^c\pm0.03	04.44^b\pm0.01	04.48^a\pm0.02	-					
Acidité ($^{\circ}D$)	Fermentation	0h	18.33 ^g \pm 0.01	18.33 ^g \pm 0.03	18.34 ^g \pm 0.03	18.34 ^g \pm 0.03	18.34^g\pm0.12	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		2h	39.33 ^d \pm 0.08	35.33 ^e \pm 0.01	31.32 ^f \pm 0.40	31.11 ^f \pm 0.08	34.27^b\pm0.38			
		4h	80.33 ^a \pm 0.02	78.82 ^b \pm 0.88	78.60 ^b \pm 0.03	76.65 ^c \pm 0.12	78.60^a\pm0.51			
	Moyennes ($F1$) \pm ES	46.00^a\pm0.56	44.16^b\pm0.46	42.75^c\pm0.21	42.03^d\pm0.07	-				
	Post acidification	7J	85.33 ^f \pm 0.13	83.66 ^g \pm 0.06	81.82 ^h \pm 0.00	79.85 ⁱ \pm 0.04	82.66^c\pm0.06			
14J		90.45 ^d \pm 0.02	88.66 ^d \pm 0.01	84.35 ^e \pm 0.03	81.45 ^f \pm 0.04	86.23^b\pm0.02				
21J		98.50 ^a \pm 0.03	95.32 ^b \pm 0.01	94.06 ^c \pm 0.04	92.33 ^b \pm 0.04	95.05^a\pm0.01				
Moyennes ($F1$) \pm ES	91.43^a\pm0.02	89.21^b\pm0.01	86.74^c\pm0.03	84.54^d\pm0.03	-					
Viscosité (m^2/s)	Fermentation	0h	00.89 ⁱ \pm 0.01	00.89 ⁱ \pm 0.05	00.88 ⁱ \pm 0.01	00.87 ⁱ \pm 0.03	00.88^c\pm0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01
		2h	20.07 \pm 0.95	17.43 ^f \pm 0.22	15.37 ^h \pm 0.07	13.38 ^h \pm 0.02	16.56^b\pm0.42			
		4h	52.33 ^a \pm 0.47	51.40 ^b \pm 0.45	41.97 ^c \pm 0.36	35.16 ^d \pm 0.36	45.22^a\pm0.33			
	Moyennes ($F1$) \pm ES	24.43^a\pm0.53	23.24^b\pm0.26	19.41^c\pm0.18	16.47^d\pm0.07	-				
	Post acidification	7J	72.06 ^f \pm 0.85	68.98 ^h \pm 0.82	56.14 ^j \pm 0.28	45.98 ^l \pm 0.12	60.79^c\pm0.52			
14J		80.65 ^c \pm 0.57	77.86 ^d \pm 0.61	70.73 ^g \pm 0.15	54.24 ^k \pm 0.05	70.87^b\pm0.58				
21J		85.30 ^a \pm 0.27	83.43 ^b \pm 0.56	76.29 ^e \pm 0.49	59.60 ⁱ \pm 0.12	76.16^a\pm0.34				
Moyennes ($F1$) \pm ES	79.34^a\pm0.53	76.76^b\pm0.58	67.72^b\pm0.29	53.27^d\pm0.53	-					

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivis des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions $n=03$; h: heures; J:jour; $F1$: facteur période; $F2$: facteur concentrations d'extrait incorporées; $F1 \times F2$: interaction des deux facteurs étudiés (période et concentration d'extrait); a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman-Keuls.

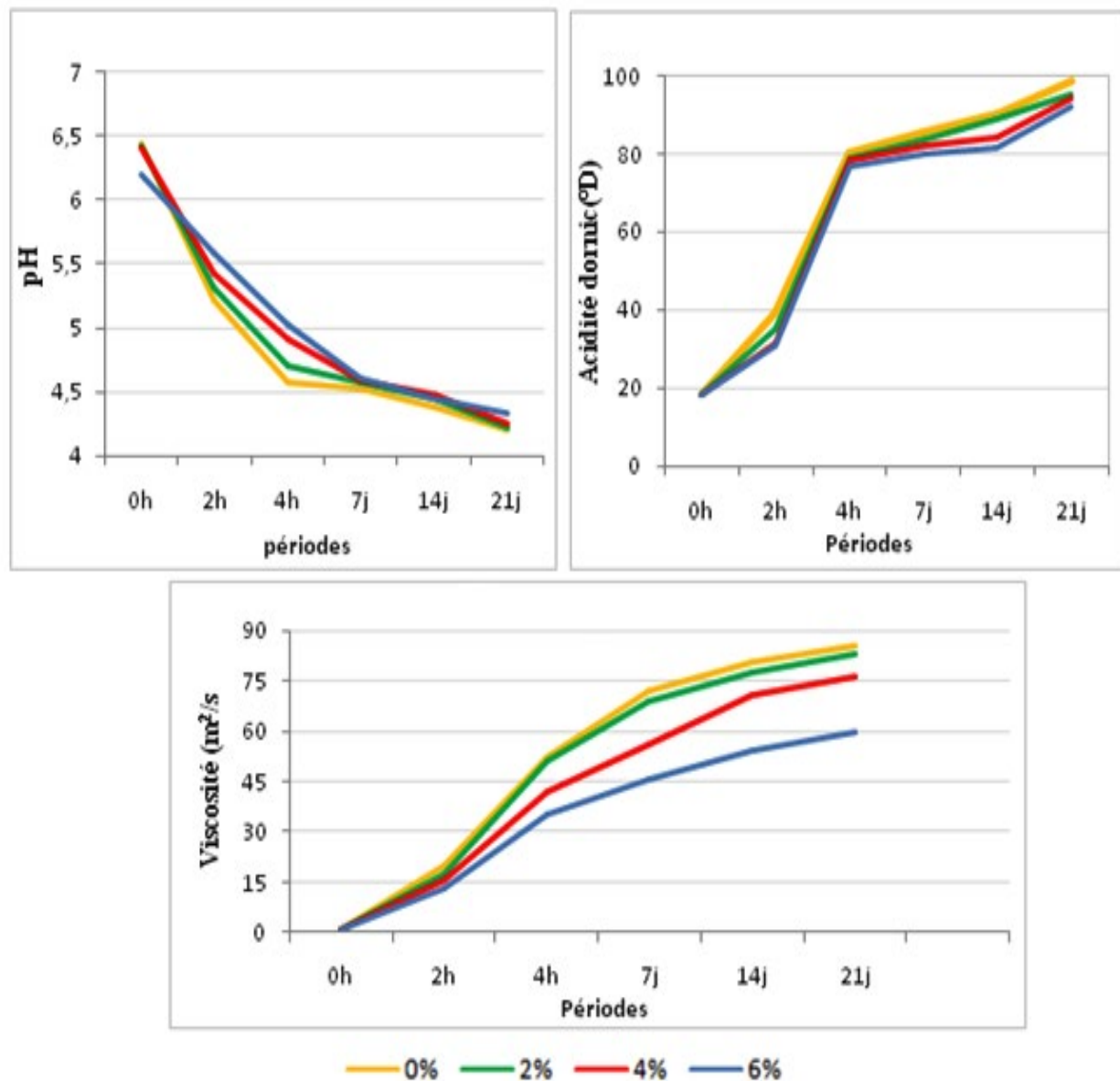


Figure 42. Evolution des paramètres physicochimiques des yaourts enrichis en extrait aqueux de *Mentha piperita* L. au cours des périodes de fermentation et de post acidification.

1.6.3. Qualité organoleptique

D'une manière générale, l'ajout de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. au yaourt semble affecter significativement ($P < 0.01$) la qualité organoleptique évaluée par les panélistes tout au long de la période de stockage de 21 jours, au cours de laquelle les critères sensoriels mesurés semblent d'autant plus altérés en fonction des augmentations des doses d'extrait ajoutées.

Les panélistes semblent avoir mieux apprécié le yaourt témoin au plan du goût acide ayant inscrit des scores variant entre 15 et 19.5 sommes des rangs durant les 21 jours de post acidification que

celui préparé à 2% d'extrait avec des sommes des rangs situés entre 18.5 et 25 ; alors que les laits fermentés contenant 4 et 6% d'extrait ont dévoilé de médiocres résultats avec des scores variant de 26.5 et 39 somme des rangs.

Pour ce qui est du goût de fraîcheur, du 1^{er}, au 7^{ème}, 14^{ème} et 21^{ème} jour de réfrigération, le yaourt à 4% d'extrait s'est démarqué par des scores très proches sinon meilleurs ($P < 0.01$) que le témoin ; 15.5 vs 26.5 , 15.5 vs 25 , 14 vs 27 , 21 vs 14 somme des rangs, respectivement. En revanche, pendant ces mêmes périodes, comparativement au témoin, des résultats médiocres ($P < 0.01$) ont été obtenus particulièrement à un taux d'extrait de 6% ; 15.5 vs 31.5, 15.5 vs 33, 14 vs 31 et 21 vs 36.5 somme des rangs, successivement.

Quant à l'arrière-goût, les taux d'incorporation de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. ne semblent pas exercer d'impact ($p > 0.05$) réel sur les variations de ce critère sensoriel pendant les 14 premiers jours de stockage des produits au froid ; 17.5 à 31.5 sommes des rangs. Tandis qu'au 21^{ème} jour de conservation, l'arrière goût s'avère de plus en plus prononcé en fonction des augmentations de 0 à 6% d'extrait dans les yaourts ($P < 0.01$) ; avec des sommes des rangs qui ont varié de 14.5 à 37 (**Tableau 46 ; Figure 43**).

En ce qui concerne l'adhésivité, au 1^{er} jour comme au 21^{ème} jour ce critère organoleptique semble diminuer d'une façon hautement significative ($P < 0.01$) de 20 à 33 et de 17 à 38.5 somme de rangs, respectivement selon les variations de 0 à 6% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. dans le yaourt. Par ailleurs, au 7^{ème} et au 14^{ème} jour, les panélistes n'ont enregistré aucune différence d'adhésivité ($p > 0.05$) entre les produits. Quoiqu'au 21^{ème} jour le yaourt à 2% d'extrait a enregistré un résultat similaire au témoin ($p > 0.05$) ; 17 somme des rangs.

Pour le critère de cohésivité, des hausses remarquables ($P < 0.01$) de 11.5 à 34.5 sommes des rangs en fonction des augmentations des doses d'extrait dans les yaourts ont été constatées tout au long de la conservation excepté au 14^{ème} jour où aucune différence n'a été ressentie par les dégustateurs (24 à 29 en somme des rangs).

Au 14^{ème} jour et 21^{ème} jour d'entreposage les panélistes semblent mal apprécier ($P < 0.01$) l'odeur des yaourts additionnés d'extrait de menthe par comparaison au témoin ; tandis qu'au 1^{er} et 7^{ème} jour l'analyse de variance n'a révélé aucun effet significatif ($p > 0.05$) de l'ajout de l'extrait sur ce paramètre étudié.

En fin, un effet hautement significatif ($P < 0.01$) de l'extrait sur la couleur des produits élaborés a été constaté tout au long de la période de post acidification où le yaourt a été d'autant moins apprécié par les dégustateurs avec l'augmentation de 0 à 6% des doses d'extraits ajoutés ; soit une évolution des sommes des rangs de 14.5 à 33, en moyenne, pendant toute la période expérimentale (**Tableau 46 ; Figure 43**).

Tableau 46. Effet de l'incorporation d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sur la qualité sensorielle d'un yaourt étuvé.

Paramètres étudiés	période	Doses d'extrait aqueux de <i>Mentha piperita</i> L. incorporées				Effet de l'extrait
		0%	2%	4%	6%	
Gout acide	J1	15.5 ^c	18.5 ^c	28.5 ^b	37.5 ^a	p< 0.01
	J7	16.5 ^d	20.5 ^c	28 ^b	39 ^a	p< 0.01
	J14	19.5	23.5	26.5	30.5	p> 0.05
	J21	15 ^c	25 ^b	29 ^a	37 ^a	p< 0.01
Gout de fraîcheur	J1	15.5 ^c	26.5 ^b	26.5 ^b	31.5 ^a	p< 0.01
	J7	15.5 ^c	26.5 ^b	25 ^b	33 ^a	p< 0.01
	J14	14 ^c	28 ^b	27 ^b	31 ^a	p< 0.01
	J21	21 ^c	28.5 ^b	14 ^d	36.5 ^a	p< 0.01
Arrière gout	J1	26	24	23	27	p> 0.05
	J7	26	24	23	27	p> 0.05
	J14	19	22	17.5	31.5	p> 0.05
	J21	14.5 ^d	20.5 ^c	28 ^b	37 ^a	p< 0.01
Adhésivité	J1	20 ^d	27.5 ^{cd}	32.5 ^b	33 ^a	p< 0.01
	J7	23.5	28	27	30.5	p> 0.05
	J14	24	23.5	27	28.5	p> 0.05
	J21	17 ^c	17 ^c	27.5 ^b	38.5 ^a	p< 0.01
Cohésivité	J1	11.5 ^c	25.5 ^{bc}	28.5 ^b	34.5 ^a	p< 0.01
	J7	12 ^c	25 ^{bc}	28.5 ^b	34.5 ^a	p< 0.01
	J14	24	24	25.5	29	p> 0.05
	J21	20 ^b	20 ^b	29.5 ^a	33.5 ^a	p< 0.01
Odeur	J1	23.5	23.5	24	24	p> 0.05
	J7	23.5	24.5	25	25.5	p> 0.05
	J14	18.5 ^b	20.5 ^{ab}	32.5 ^a	28.5 ^a	p< 0.01
	J21	15 ^c	17.5 ^b	31 ^a	36.5 ^a	p< 0.01
Couleur	J1	14.5 ^d	16.5 ^c	24 ^b	31 ^a	p< 0.01
	J7	14.5 ^c	18.5 ^c	26 ^b	33 ^a	p< 0.01
	J14	13 ^c	21 ^b	31.5 ^a	34.5 ^a	p< 0.01
	J21	16 ^b	17 ^b	30 ^a	35 ^a	p< 0.01

Les résultats sont exprimés en sommes des rangs, avec un nombre de panélistes n=10; J:jours ; P>0.05 effet non significatif du facteur étudié (taux d'extrait incorporés dans le yaourt); p<0.01: effet hautement significatif du facteur étudié ;a,b,c,d,e...etc. : groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Fridmen .

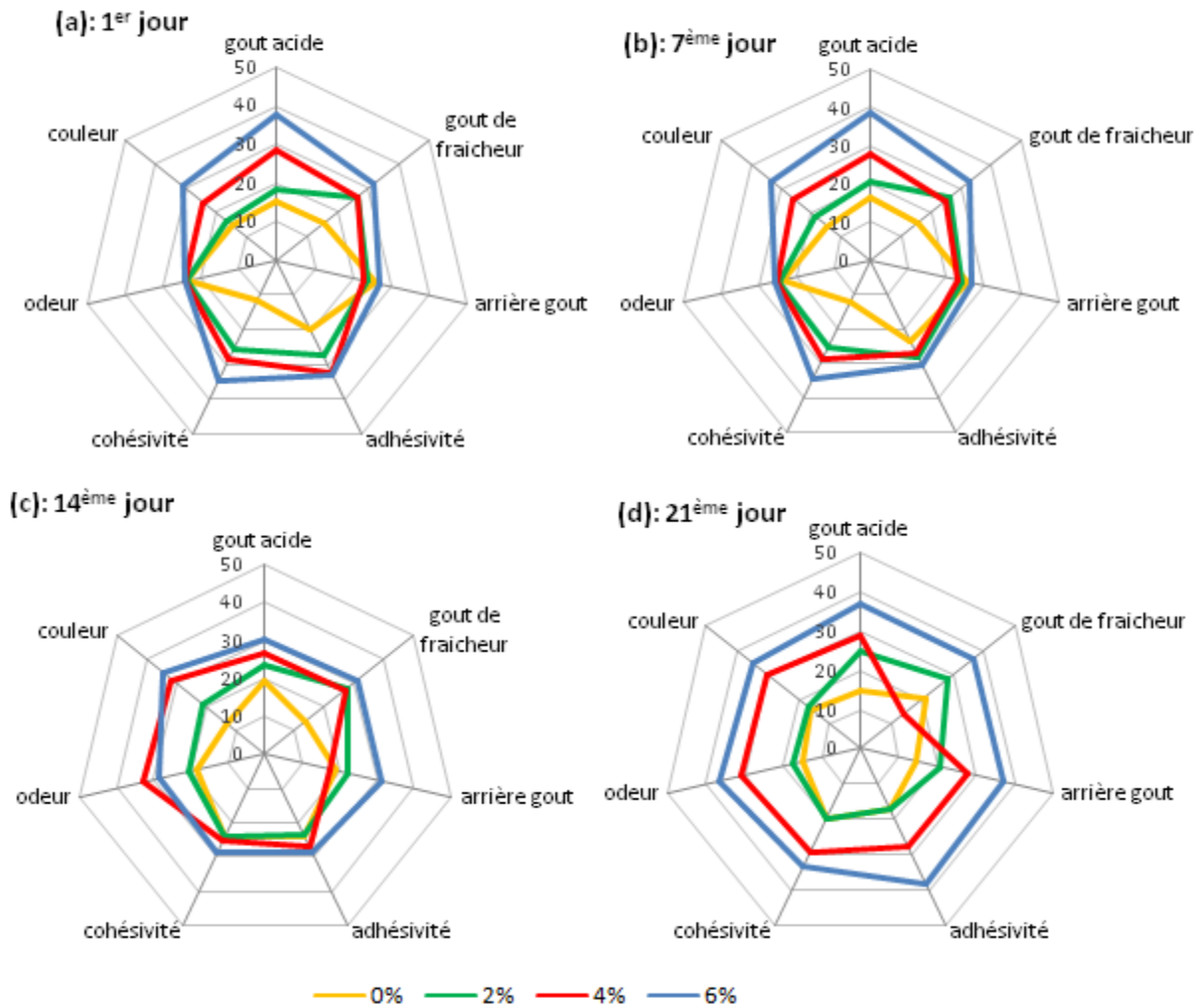


Figure 43. Effet de l'incorporation d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sur la qualité organoleptique d'un yaourt étuvé au cours de 21 jours de stockage au froid positif.

1.6.4. Caractéristiques oxydatives des yaourts

Tout au long de la période de stockage, les pourcentages d'inhibition du radical DPPH des yaourts expérimentaux ont montré une évolution décroissante significative ($p < 0.01$) en fonction du temps d'entreposage au froid positif de 6°C ; avec des valeurs qui ont baissé de 34.66, à 27.32 et à 22.89 en moyennes, respectivement, au 1^{er}, 10^{ème} et 20^{ème} jour de réfrigération.

Au contraire, une nette amélioration très significative ($p < 0.01$) du pouvoir de piégeage de ce radical en fonction des doses de l'augmentation de 0 à 6% des doses de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. additionnées au yaourt a été observée au cours de la conservation. En effet, la supplémentation du yaourt par des doses croissantes de 2, 4 et 6% d'extrait a induit des pourcentage d'inhibition allant respectivement de 31.04, à 40.5 et à 47.74% au 1^{er} jour, et de 28.17, à 30.78 et à 34.67% au 10^{ème} jour, et de 21.99 , à 28.91 et à 31.07% au 20^{ème} jour de réfrigération.

Le potentiel antioxydant des yaourts expérimentaux mesuré par le test de piégeage des cations ABTS⁺, semble suivre la même tendance que celle de DPPH ; avec des baisses (p<0.01) du pourcentage d'inhibition de 29.68 à 18.44% en fonction du temps de réfrigération et de 12.98 à 23.11% avec l'accroissement des oses de 0 à 6% du niveaux d'extrait aqueux de menthe incorporé (**Figure 44**).

En revanche, le taux de peroxydation des lipides dans l'ensemble des produits expérimentaux a augmenté sensiblement (p<0.01) de 0.62 ; à 0.78 et à 1.46 mg MDA/kg, en moyennes, au 1^{er}, au 10^{ème} et au 21^{ème} jour de conservation, respectivement. De plus, l'ajout d'extrait de menthe poivrée durant toute cette période à des dose variables de 0, 2, 4 et 6% à induit des baisse remarquables de 1.14, à 0.95, à 0.89 et à 0.85 mg MDA/kg, en moyennes (**Tableau 47 ; Figure 45**).

Tableau 47. Evolution du potentiel antioxydant (% d'inhibition des radicaux DPPH & d'ABTS) et du taux de peroxydation des lipides TBARS (mg MDA/kg) des yaourts.

Périodes	Taux d'incorporation (%) d'extrait de <i>Mentha Piperita</i> L. (Moyennes± ES de l'Int. F1XF2)				Moyennes ± ES (F1)	
	0%	2%	4%	6%		
DPPH	J1	19.36 ^g ±0.66	31.04 ^d ±0.89	40.50 ^d ±0.65	47.74 ^a ±0.90	34.66 ^a ±0.67
	J10	15.65 ^h ±0.32	28.17 ^c ±0.31	30.78 ^b ±0.30	34.67 ^c ± 0.36	27.32 ^b ±0.28
	J20	09.58 ⁱ ±0.39	21.99 ^f ±0.77	28.91 ^e ±0.18	31.07 ^d ± 0.23	22.89 ^c ±0.39
Moyennes ± ES (F2)	14.86 ^d ±0.42	27.07 ^c ±0.61	33.40 ^b ± 0.37	37.82 ^a ± 0.50	-	
ABTS	J1	17.38 ^h ±0.33	20.07 ^e ±0.61	37.27 ^b ±0.72	40.00 ^a ± 0.41	29.68 ^a ±0.46
	J10	15.67 ⁱ ±0.37	20.30 ^g ±0.43	25.79 ^d ±0.33	32.15 ^c ± 0.69	23.48 ^b ±0.40
	J20	12.98 ⁱ ±0.42	17.95 ^h ±0.63	19.71 ^g ±0.51	23.11 ^f ±0.22	18.44 ^c ±0.40
Moyennes ± ES (F2)	15.34 ^d ±0.32	20.77 ^c ±0.49	27.59 ^b ± 0.47	31.75 ^a ± 0.41	-	
TBARS	J1	0.78 ^d ±0.05	0.65 ^{dc} ±0.01	0.57 ^{ef} ±0.04	0.46 ^f ±0.02	00.62 ^c ±0.03
	J10	1.11 ^c ±0.01	0.77 ^d ±0.03	0.69 ^{dc} ±0.02	0.63 ^{dc} ±0.02	00.78 ^b ±0.02
	J20	1.52 ^a ±0.07	1.49 ^{ab} ±0.01	1.45 ^{ab} ±0.02	1.36 ^b ±0.08	01.46 ^a ±0.04
Moyennes ± ES (F2)	1.14 ^a ±0.04	0.95 ^b ±0.01	0.90 ^c ±0.02	0.82 ^d ± 0.04	-	

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes suivies des écarts types correspondants, avec un nombre de répétitions n=03 ; ES : Erreurs standards ; J: jours ; F1 : facteur périodes ; F2 : facteur concentrations d'extrait incorporées ; Int. F1×F2 : interaction des deux facteurs étudiés (Périodes et Concentrations d'extrait) ; a,b,c...etc.: groupes homogènes de comparaison des moyennes deux à deux selon le test de Newman et Keuls .

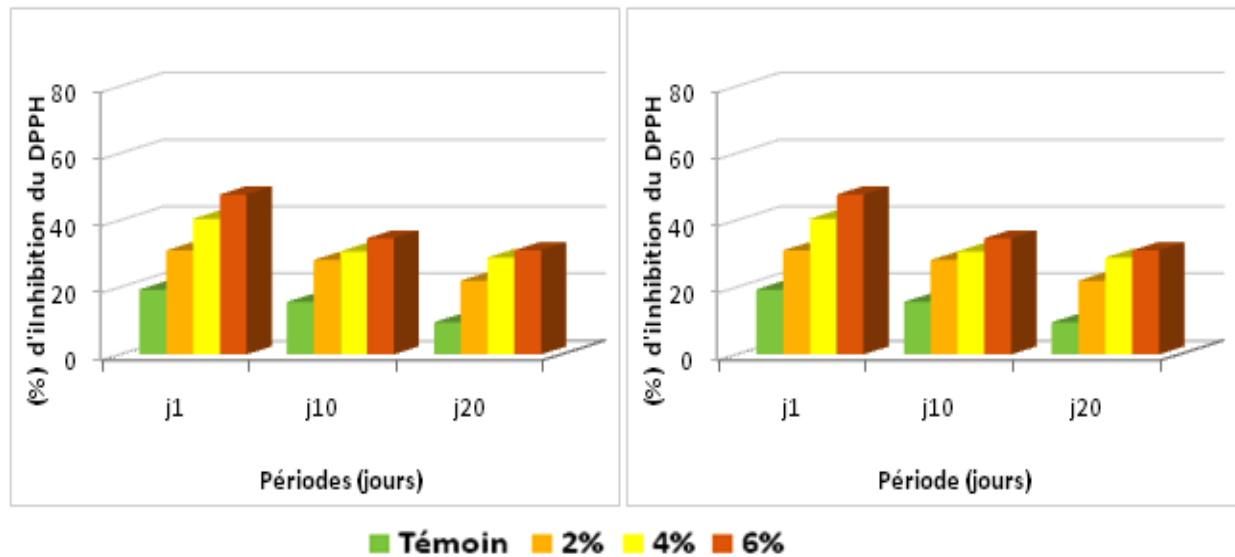


Figure 44. Evaluation du potentiel antioxydant dans les yaourts enrichis d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., au cours de 21 jours de réfrigération à 6°C.

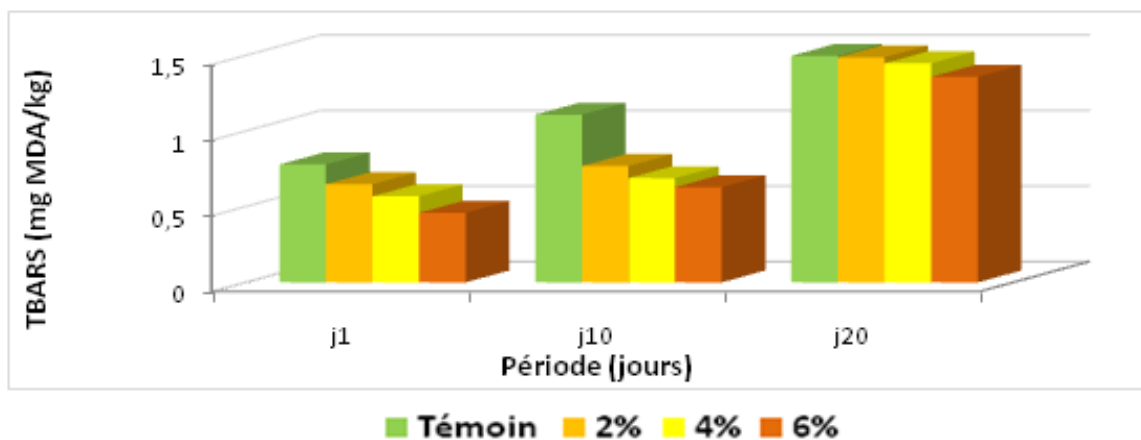


Figure 45. Evaluation de la peroxydation des lipides par le test de TBARS (mg MDA/kg) des yaourts enrichis d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. à différentes doses au cours de 20 jours de réfrigération.

1.6.5. Profil lipidique des yaourts expérimentaux

Le profil lipidique des yaourts nature et enrichis en extrait aqueux de *Mentha piperita* L. à 4% sont présentés dans le (Tableau 48).

Tout au long de la période de stockage, les yaourts expérimentaux ont montré de légères variations ($p > 0.05$) dans leur teneur en matières grasses totales, allant de 1.82 à 1.84%.

Globalement, l'ajout de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. n'a pas influencé de manière significative ($p > 0.05$) les teneurs en acides gras saturés (AGS) comprises entre 68.18 et 68.46% de la matière grasse totale, ni les teneurs en acides gras insaturés (AGI) qui ont varié entre 30.84 et 31.66% du total de la matière grasse, ainsi que leur rapport (AGS/AGI) qui a été de l'ordre de

2.14 à 2.17. Il en est de même pour les acides à chaîne longues ($p > 0.05$) dont les teneurs sont situées entre 90.09 et 91.46% de la matière grasse totale.

Cependant, l'analyse de la variance a montré une augmentation très significative ($p < 0.01$) de la teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI) dans le yaourt additionné de 4% d'extrait. En effet, une augmentation de la teneur en AGPI dans le yaourt additionné d'extrait, estimée à environ 19.39% par rapport au témoin, a été observée au 20^{ème} jour de stockage alors qu'une réduction très significative ($p < 0.01$) de la teneur globale en acides gras à chaîne courte et moyenne (AGCC) a été observée avec l'ajout de l'extrait (13.67%) par rapport au yaourt témoin.

Les acides gras les plus abondants dans les yaourts analysés dans la présente étude sont l'acide palmitique (C16:0) qui représente de 35.08 à 35.87% des lipides totaux ; l'acide oléique (C18:1n9) avec un taux compris entre 23.18 et 24.49% des lipides totaux ; l'acide myristique (C14:0) ayant une teneur variable de 11.88 à 12.30% des lipides totaux et l'acide stéarique (C18:0) dont le taux a varié de 8.99 à 9.45% de matière grasse totale. Ces acides gras ainsi que d'autres tels que l'acide caprique (C10:0) ; l'acide laurique (C12:0) et l'acide pentadécanoïque (C15:0) paraissent stables ($p > 0.05$) en fonction de la durée de stockage et de la teneur en extrait végétal ajouté au produit.

Toutefois, l'ajout de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. semble avoir sensiblement ($P < 0.01$) abaissé les niveaux des acides gras à chaînes courtes tels que l'acide butyrique (C4:0), acide caproïque (C6:0) et acide caprylique (C8:0) d'environ 18.19%, 51.12 et 45.96% par rapport au témoin à la fin de la période de conservation. D'autres acides gras à savoir l'acide tridécanoïque (C13:0) et l'acide cis-11-ecosénoïque (C20:1n9) semblent également être négativement et considérablement ($P < 0.01$) affectés par la présence de l'extrait aqueux dans le yaourt en réduisant leurs teneurs de respectivement de 9% et 22.53% comparativement au témoin après 20 jours de réfrigération.

Par ailleurs, les acides gras appartenant au groupes des oméga 3 (ω -3) ont été négativement et significativement ($p < 0.01$) influencés par l'ajout de l'extrait aqueux de menthe poivrée et leurs teneurs se sont même révélées nulles dans les yaourts contenant 4% d'extrait après 20 jours de stockage. Tandis que le taux global d'acides gras appartenant au groupe des oméga-6 a montré une tendance positive significative ($p < 0.01$) ; soit une amélioration de la teneur en ce groupe d'acides gras avoisinant 42.29% dans les yaourts additionnés d'extrait par rapport au témoin. Le rapport ω -6/ ω -3 a été significativement ($p < 0.01$) affecté par l'ajout de l'extrait, allant de 6.76 à environ 6.96 au 1^{er} jour de stockage et de 5.21 à 0 pour, respectivement, le yaourt témoin et le yaourt contenant l'extrait après 20 jours de stockage au froid positif (6°C).

Il convient de noter que parmi les acides gras essentiels l'acide linoléique (C18:2n6) a montré une amélioration quantitative considérable ($P < 0.01$) estimée à 49.11% comparativement au yaourt standards suite à l'ajout de l'extrait et après 20 jours de stockage. Tandis que d'autres acides gras essentiels tels que l'acide α -linoléique (C18:3n3), l'acide cis-11,14,17-ecosatriénoïque (C20:3n3), l'acide cis-8,11,14-Eicosatriénoïque (C20:3n6) ainsi que l'acide undécanoïque (C11:0), l'acide arachidique (C20:0), l'acide cis-11,14-ecosadiénoïque (C20:2), l'acide béhénique (C22:0) et l'acide lignocérique (C24:0) ont complètement ($P < 0.01$) disparus dans les yaourts additionnés d'extrait.

Tableau 48. Profil en acides gras des yaourts expérimentaux (en % des lipides totaux).

Périodes	1 ^{er} Jour		20 ^{ème} Jour		Effet d'EAMP
	0% EAMP (Témoin)	4% EAMP	0% EAMP (Témoin)	4% EAMP	
Lipides totaux (g/100g)	01.843 ± 0.09	01.844 ± 0.06	01.822 ± 0.03	01.831 ± 0.05	p>0.05
C4:0	01.485 ^b ± 0.07	01.443 ^b ± 0.01	01.644 ^a ± 0.03	01.345 ^c ± 0.01	P<0.01
C6:0	01.286 ^a ± 0.06	01.279 ^a ± 0.01	01.329 ^a ± 0.02	00.623 ^b ± 0.00	P<0.01
C8:0	00.980 ^a ± 0.05	00.973 ^a ± 0.00	01.003 ^a ± 0.02	00.542 ^b ± 0.00	P<0.01
C10:0	02.556 ± 0.13	02.511 ± 0.01	02.576 ± 0.04	02.577 ± 0.01	p>0.05
C11:0	00.050 ^a ± 0.00	00.047 ^b ± 0.00	00.040 ^c ± 0.00	00 ^d	p<0.01
C12:0	03.350 ± 0.70	03.283 ± 0.01	03.319 ± 0.05	03.468 ± 0.02	p>0.05
C13:0	00.091 ^c ± 0.01	00.104 ^b ± 0.00	00.100 ^b ± 0.00	00.091 ^c ± 0.00	p<0.01
C14:0	12.042 ± 0.60	11.933 ± 0.05	11.882 ± 0.19	12.302 ± 0.05	p>0.05
C14:1	00.641 ^b ± 0.03	00.629 ^b ± 0.00	00.622 ^b ± 0.01	01.290 ^a ± 0.01	p<0.01
C15:0	01.321 ± 0.07	01.280 ± 0.02	01.304 ± 0.02	01.218 ± 0.01	p>0.05
C16:0	35.249 ± 1.75	35.390 ± 0.14	35.075 ± 0.57	35.87 ± 0.16	p>0.05
C16:1	02.173 ^b ± 0.11	02.222 ^b ± 0.07	02.266 ^b ± 0.03	02.436 ^a ± 0.06	p<0.01
C17:0	00.666 ^a ± 0.03	00.595 ^b ± 0.02	00.632 ^a ± 0.01	00.66 ^a ± 0.01	p<0.01
C18:0	08.994 ± 0.45	09.166 ± 0.04	09.140 ± 0.15	09.451 ± 0.04	p>0.05
C18:1n9	24.173 ± 1.20	24.494 ± 0.10	24.317 ± 0.40	23.181 ± 0.10	p>0.05
C18:2n6	02.766 ^b ± 0.14	02.504 ^c ± 0.01	02.816 ^b ± 0.05	04.199 ^a ± 0.02	p<0.01
C20:0	00.131 ^a ± 0.01	00.135 ^a ± 0.00	00.133 ^a ± 0.00	00 ^b	p<0.01
C18:3n3	00.338 ^b ± 0.02	00.291 ^c ± 0.00	00.448 ^a ± 0.01	00 ^d	p<0.01
C20:1n9	01.148 ^a ± 0.06	01.124 ^a ± 0.00	00.941 ^b ± 0.02	00.729 ^c ± 0.00	p<0.01
C20:2	00.051 ^b ± 0.00	00.054 ^a ± 0.00	00 ^c	00 ^c	p<0.01
C20:3n3	00.093 ^b ± 0.06	00.120 ^a ± 0.00	00.118 ^a ± 0.00	00 ^c	p<0.01
C22	00.062 ^b ± 0.00	00.064 ^b ± 0.00	00.076 ^a ± 0.00	00 ^c	p<0.01
C20:3n6	00.149 ^b ± 0.01	00.208 ^a ± 0.00	00.135 ^c ± 0.00	00 ^d	p<0.01
C24:0	00.198 ^a ± 0.01	00.114 ^b ± 0.00	00.085 ^c ± 0.00	00 ^d	p<0.01
AGS	68.462 ± 3.39	68.317 ± 0.27	68.338 ± 1.11	68.181 ± 0.30	p>0.05
AGI	31.532 ± 1.56	31.646 ± 0.12	31.663 ± 0.51	30.836 ± 0.14	p>0.05
AGS/AGI	02.171 ± 0.11	02.158 ± 0.01	02.158 ± 0.04	02.142 ± 0.01	p>0.05
AGMI	28.140 ± 1.40	28.469 ± 0.11	28.146 ± 0.46	27.630 ± 0.12	p>0.05
AGPI	03.398 ^b ± 0.17	03.177 ^c ± 0.10	03.517 ^b ± 0.16	04.199 ^a ± 0.04	p<0.01
AGCCM	09.712 ^a ± 0.48	09.537 ^a ± 0.04	09.911 ^a ± 0.16	08.556 ^b ± 0.25	p<0.01
AGCL	90.300 ± 4.47	90.426 ± 0.36	90.090 ± 1.46	91.462 ± 0.40	P>0.05
ω-3	00.431 ^b ± 0.02	00.411 ^b ± 0.02	00.566 ^a ± 0.01	00 ^c	p<0.01
ω-6	02.915 ^b ± 0.14	02.712 ^c ± 0.08	02.951 ^b ± 0.05	04.199 ^a ± 0.08	p<0.01
ω-6/ ω-3	06.764 ^a ± 0.34	06.958 ^a ± 0.13	05.214 ^b ± 0.09	00 ^c	p<0.01

Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes et écarts types; Pour chaque groupe, le nombre de répétitions est de 03 (n = 03); EAMP: Extrait aqueux de *Mentha piperita* L.; p<0.01 : effet hautement significatif du facteur étudié (Taux d'extrait de menthe incorporés dans le yaourt); p<0.05 : effet significatif du facteur étudié; p>0.05 : effet non significatif du facteur étudié. Les moyennes dans la même ligne avec différents souscriptions sont significativement différentes au seuil de probabilité de 5%; MGT : matière grasse totale; C4:0 (acide butyrique); C6:0 (acide caproïque); C8:0 (acide caprylique); C10:0 (acide caprique); C11:0 (acide undécanoïque); C12:0 (acide laurique); C13 : 0 (acide tridécanoïque); C14:0 (acide myristique); C14:1 (acide myristoléique); C15:0 (acide pentadécanoïque); C16:0 (acide palmitique); C16:1 (acide palmitoléique); C17:0 (acide heptadécanoïque); C18:1n9c (acide oléique); C18:2n6c (acide linoléique); C20:0 (acide arachidique); C18:3n3 (acide α-linolénique); C20 : 1n9 (acide cis-11-ecosénoïque); C20:2 (acide cis-11,14-ecosadiénoïque); C20:3n3 (acide cis-11,14,17-ecosatriénoïque); C22:0 (acide béhénique); C20 : 3n6 (Acide cis-8,11,14-Eicosatriénoïque); C24:0 (Acide lignocérique); AGS :Acides gras saturés; AGI :Acides gras insaturés; AGS/AGI :Rapport acides gras saturés/insaturés; AGMI : Acide gras mono insaturé; AGPI :Acide gras poly insaturé; AGCCS : Acides gras à chaîne courte et moyenne; AGCL: Acides gras à chaîne longues; ω-3:Oméga 3; ω-6:Oméga 6; ω-6/ ω-3 : rapport Oméga 6/ Oméga3.

2. Discussion

2. 1. Etude phytochimique de l'extrait

Dans la présente étude l'extraction des composés bioactifs de *Mentha piperita* L. par usage de l'eau comme solvant d'extraction a abouti à un rendement très intéressant estimé à 19.05%, bien supérieur à 12.72% obtenu par macération dans l'eau d'une menthe poivrée récoltée au Brésil (Fischer et al., 2020). Cette différence de rendement peut être due à la différence de composition des plantes étudiées (Al-Zaben et al., 2023), influencée particulièrement par la localisation géographique et le climat (Brahmi et al., 2022).

Les résultats du screening phytochimique de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., a révélé une présence remarquable de polyphénols, d'alcaloïdes et de tannins galliques à côté des flavonoïdes, des anthocyanes, des saponines, ainsi que des sucres réducteurs qui ont été également détectés à de faibles teneurs. Les mêmes résultats ont été rapportés par (Iqbal et al., 2022) seulement à la différence ils n'ont pas détecté de saponines dans l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., récoltée au Pakistan. Les variations des résultats proviennent probablement à l'influence des facteurs environnementaux liés à la saison de récolte et à la provenance géographique de la plante (Brahmi et al., 2022). Les méthodes d'extraction et d'analyse peuvent également avoir aussi un impact décisif sur la détection précise des substances phytochimiques lors du criblage, ce qui s'est traduit par l'absence ou la présence d'un métabolite particulier dans un extrait de la même plante obtenu par usage du même solvant (Rohloff et al., 2005 ; Mahendran & Rahman, 2020).

Par ailleurs, le dosage colorimétrique a dévoilé dans la solution de menthe poivrée des contenus en composés phénoliques totaux et en flavonoïdes totaux très remarquables estimés, respectivement, à 93.31 mg EAG et 85.83 mg EQ/g d'extrait lyophilisé. Ces valeurs sont très élevées par rapport à celles rapportées dans une étude réalisée sur une menthe poivrée récoltée en Inde dont les teneurs ont été évaluées respectivement à 3.40 mg EAG et 7.34 mg EQ par g d'extrait lyophilisé (KS & Shinde, 2019). Ces différences de résultats seraient attribuables à plusieurs facteurs notamment le climat et la situation géographique qui, selon (Brahmi et al., 2022), peuvent influencer sensiblement en termes qualitatifs et quantitatifs la composition des plantes en principaux composés bioactifs.

Cependant, bien que le meilleur rendement d'extraction ait été obtenu dans la présente étude par l'usage de l'eau comme solvant d'extraction, l'extrait aqueux de menthe poivrée a montré des teneurs en composés phénoliques totaux et en flavonoïdes très faibles par rapport à celles enregistrées dans les extraits hydroéthanolique (359.61 mg EAG et 219.77, respectivement, par g d'extrait lyophilisé et hydrométhanolique (412.32 mg EAG et 227.65 mg EQ, respectivement, par g d'extrait lyophilisé testés dans cette présente étude. Ceci peut être expliqué par le fait que l'usage de l'eau comme seul solvant d'extraction conduit à un extrait contenant, en plus des composés phénoliques, d'autres substances polaires et non polaires en proportions élevées telles que les sucres, les acides organiques et les protéines solubles susceptibles d'interférer dans la quantification des composés bioactifs mesurés (Chirinos et al., 2007). Une autre raison, potentiellement possible, a été mentionnée par Zhang et al. (2001) indiquant que la faible teneur en polyphénols de l'extrait aqueux serait liée à la dégradation de ces composés par l'enzyme polyphénol oxydase qui est inactive dans les extraits au méthanol et à l'éthanol. En outre,

l'éthanol et le méthanol, étant moins polaires que l'eau, dégradent plus efficacement les parois cellulaires des plantes et permettent ainsi une meilleure extraction des principaux composés secondaires contenus dans les végétaux (**Lapornik et al., 2005**).

La méthode LC-MS/MS appliquée à l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L, a permis d'identifier, parmi les 53 standards utilisés, 22 composés phytochimiques dont 6 acides phénoliques, 13 flavonoïdes, 2 acides non phénoliques, ainsi qu'un unique aldéhyde phénolique.

Une abondance remarquable des acides phénoliques (89.78% des composés détectés) a été constatée dont l'acide rosmarinique a enregistré la proportion la plus élevée avec une teneur estimée à 86.73 mg/g d'extrait sec. Cet acide s'avère le principal constituant de ce groupe de composés phénoliques (groupes des acides phénoliques) qui a représenté un taux de 78.81% des principaux acides phénoliques identifiés et une proportion d'environ 70.83% de la totalité des substances phytochimiques révélées. Nos résultats sont proches à ceux publiés par (**Oalde Pavlović et al., 2021**) qui ont estimé le contenu en acide rosmarinique à 84.45 mg/g d'extrait sec d'une menthe poivrée cultivée en Serbie. Cette richesse de *Mentha piperita* L. en acides phénoliques et en particulier en acide rosmarinique a aussi été confirmée par de nombreux auteurs (**Elansary et al., 2020 ; Ćavar Zeljković et al., 2021 ; Kürekci & Beyazit, 2022**). L'acide rosmarinique joue un rôle important chez les végétaux en tant qu'agent de défense contre les pathogènes du milieu et contre les herbivores, tandis que chez les humains, il semble être doté principalement d'une bonne activité neuro-protectrice démontré notamment dans le cadre de la prévention de la maladie d'Alzheimer (**Costa et al., 2013**), mais il présente aussi des effets anti-inflammatoires (**Zhao et al., 2018**) et hépatoprotecteurs très avérées (**Wang et al., 2019, Marchev et al., 2021**).

Cette présente étude a également dévoilé la présence d'autres acides phénoliques dans l'extrait aqueux de la plante étudiée tels que les acides quinique (18.38 mg/g d'extrait) et caféique (3.089 mg/g d'extrait sec) qui s'avèrent occuper respectivement la 2^{ème} et la 4^{ème} place parmi l'ensemble de ces composés identifiés du point de vue abondance.

Les acides chlorogénique, protocatéchique, p-coumarique et gentsique ont éventuellement été quantifiés à des taux relativement négligeables de 0.799, 0.582, 0.423 et 0.046 mg/g d'extrait sec, respectivement. A ce propos, (**Mahdavia et al., 2017**) ont aussi mis en évidence la présence des acides caféique, chlorogénique et p-coumarique dans l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., cultivée en Iran, mais à des teneurs différentes par comparaison aux résultats avancés dans cette étude expérimentale (0.05, 1.2 et 1 mg/g d'extrait sec, respectivement). (**Oalde Pavlović et al., 2021**) de leur côté ont rapporté des valeurs de 0.69 et 1.09 mg/g d'extrait sec de menthe poivrée récoltée en Serbie, respectivement, pour les acides caféique et chlorogénique.

En outre, les flavonoïdes détectés à un taux de 6.96% de la totalité des substances phytochimiques identifiées ont été fortement représentés par les flavones estimés à un taux de 76.36% des flavonoïdes détectés dont les plus réponsus étaient le cyranoside, la lutéoline et la cosmosiine évalués à des proportions de 2.611, 1.381 et 1.151 mg/g d'extrait sec, respectivement. La présence de ces composés a aussi été signalés dans la menthe poivrée par (**Van et al., 2022**). Trois flavanones à savoir l'hespéridine, la naringénine et l'hespérétine ont été également détectées à des taux successives de 1.317, 0.1 et 0.321 mg/g d'extrait sec, en plus d'un aldéhyde

protocatachuique retrouvé à un niveau très faible (0.161 mg/g d'extrait sec). Par ailleurs, l'extrait analysé semble renfermer encore 3 flavonols ; Rutine (0.089 mg/g d'extrait sec), isoquercitrine (0.087 mg/g d'extrait sec) et Kaempferol (0.092 mg/g d'extrait sec). Une présence d'un acide non phénolique, à savoir l'acide fumarique, aux propriétés antioxydantes très reconnues (**Guimarães et al., 2013**) a également été détectée dans l'extrait analysé à un taux de 3.714 mg/g d'extrait sec. Ces résultats confirment ceux de (**Kürekci & Beyazit, 2022**) qui ont récemment recensé tous ces composés bioactifs dans la menthe poivrée. L'hespéridine, exceptionnellement, a été estimée à une concentration de 9.3 mg/g d'extrait sec dans l'extrait aqueux d'une menthe poivrée Iranienne (**Mahdavia et al., 2017**). Cette teneur est nettement plus importante que celle (1.317 mg/g) recensée dans la présente étude. Aussi, la rutine, a été retrouvée dans une étude menée par (**Oalde Pavlović et al., 2021**) sur l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L à des teneurs très élevées d'environ 6.40 mg/g d'extrait sec.

Cette divergence des résultats en principaux composés secondaires présents dans l'extrait aqueux de la menthe poivrée pourrait être liée à l'influence de différents facteurs environnementaux tels (la nature du sol, l'altitude, le climat, la saison de récolte...etc.) ou à des facteurs intrinsèques propre au végétal (état physiopathologique, variation génétique et stade physiologique au moment de la récolte) (**Renoz et al., 2022**). Les méthodes et la diversité des solvants d'extraction utilisées, ainsi que les différentes techniques de séchage du végétal et d'analyses chromatographiques employées comptent encore parmi les nombreux autres facteurs capables de faire varier la composition en principaux composés bioactifs dans l'extrait analysé (**Rohloff et al., 2005 ; Mahendran & Rahman, 2020**).

2.2. Potentiel antioxydant de l'extrait

Les méthodes d'évaluation de la capacité antioxydante de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., appliquées dans la présente étude ont montré des valeurs d'IC50 de 5.37 et 4.36 mg/ml obtenues respectivement par le test de piégeage des radicaux DPPH et le test d'ABTS. Ces valeurs sont supérieures à celles enregistrées pour les standards utilisés qui ont enregistré successivement des IC50 de 0.16 et 1.36 mg/ml avec l'acide ascorbique et des IC50 de 0.03 et 1.17 mg/ml avec la quercétine, néanmoins, elles sont nettement plus intéressantes que 11.32 et 14.77 mg/ml, enregistrées via le test d'inhibition du DPPH, respectivement, pour des extraits éthanoliques et méthanoliques de *Mentha piperita* L. récoltée en Irak (**Farnad et al., 2014**) . Il est probable que les écarts entre les résultats en terme du pouvoir antioxydant proviennent de la variation en teneurs en composés phénoliques influencées par des facteurs environnementaux comprenant la saison de récolte et à l'origine géographique de la plante (**Brahmi et al., 2022**) ainsi que l'état physiologique de la plante (**Rohloff et al., 2005 ; Mahendran & Rahman, 2020**).

En effet, une corrélation linéaire entre la capacité antioxydante et le contenu phénolique total a été rapporté par plusieurs auteurs (**Aryal et al., 2019 ; Yahiaoui et al., 2022**). Les composés phénoliques sont des antioxydants importants qui désactivent les radicaux libres grâce à leur capacité à donner des atomes d'hydrogène à ceux-ci. Ils disposent également sur le plan structurel des caractéristiques optimales pour piéger les radicaux libres (**Amarowicz et al., 2004**).

Dans une large part, le caractère antioxydant de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. peut être attribué particulièrement à l'acide rosmarinique doté d'un fort pouvoir de piégeage des radicaux

libres ainsi que des espèces réactives de l'oxygène (Ghorbani et al., 2019 ; Kim et al., 2020 ; Noor et al., 2022) et qui a été retrouvé selon les résultats de l'analyse LCMS/MS comme étant le composé bioactif majoritaire parmi les acides phénoliques en plus de l'acide caféique reconnu aussi pour son fort pouvoir antioxydant dans les denrées alimentaires (Mostafazadeh et al., 2022). Néanmoins, un acide non phénolique dont l'acide fumarique possédant des propriétés antioxydantes et anti tumorales très intéressantes (Guimarães et al., 2013) a été aussi détecté dans l'extrait aqueux de la plante objet de la présente étude à un taux non négligeable de 3.714 mg/g.

Par ailleurs, l'analyse LCMS/MS a montré la présence dans l'extrait aqueux de menthe poivrée de plusieurs composés flavonoïdes dont la pouvoir antioxydant a été signalé par plusieurs chercheurs incluant des Flavones comme la lutéoline et l'apégénine (Lobine et al., 2021), le cyanoside et la cosmosiine (Elansary et al., 2020), des Flavanones comme la naringénine (Majewska et al., 2011) ainsi que l'hespérétine et l'hespéridine qui sont de puissants piègeurs de radicaux DPPH et ABTS (Choi et al., 2022)

Il est important de souligner que ces composés phénoliques contenus dans l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. contribuent à l'activité antioxydante du point de vue quantitatif, mais peuvent aussi agir par synergie d'une manière plus efficace à de faibles quantités au plan qualitatif (Zhang et al., 2022).

2.3. Impact antimicrobien de l'extrait de Menthe sur les bactéries starters du yaourt

Les résultats de l'évaluation de l'activité antimicrobienne en fonction de l'élévation de 0, 20, 40, 60, 80 et 100 % de la concentrations de l'extrait aqueux des parties aériennes de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des deux bactéries starters à Gram positif du yaourt ont permis de détecter des baisses significatives ($p < 0.01$) de la croissance des *S.thermophilus* de 356, à 310, à 236, à 122, à 70 et à 0 UFC/ml et *L.bulgaricus* de 300, à 238, à 145, à 54, à 46 et à 0 UFC/ml, respectivement. L'extrait aqueux pur non dilué de la plante a généré des diamètres d'inhibition de 12 mm pour *S.thermophilus* et de 14.63 mm pour *L.bulgaricus*. Par rapport à la Gentamicine, considérée comme un puissant antibiotique, l'effet antimicrobien de l'extrait aqueux de menthe poivrée a été estimé à environ 55 et 44% respectivement envers ces deux germes lactiques. En outre, d'après le rapport CMB/CMI égal à 1 l'extrait de la plante examiné semble exercer un effet de type bactéries vis-à-vis de ces deux germes étudiées (Denis et al., 2011).

Ces résultats sont en accord avec les constatations de plusieurs auteurs indiquant l'existence d'une relation cause à effet positive entre l'activité antibactérienne et l'augmentation de la concentration en composés phénoliques d'extraits aqueux de quelques plantes médicinales comme *Moringa oleifera*, *Azadirachta indica* et *Lepidium sativum* contre de nombreux microorganismes pathogènes tels que *Salmonella typhi*, *Streptococcus agalatae*, *Shigella boydii* et *Staphylococcus aureus* (Ibrahim & Kebede, 2020) ; et à notre connaissance, rares sont les études qui sont menées à ce jour sur l'effet antibactérien de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. vis-à-vis des bactéries bénéfiques pour la santé chez l'homme dont les bactéries starters du yaourt. Cependant, les travaux réalisés par Ait Chabane et al. (2021) ont bien confirmé la sensibilité des *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* vis-à-vis de l'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. qui a démontré un effet de type bactériostatique contre ces deux bactéries lactiques

pour lesquelles des taux d'inhibition de 66.64 et 59.99% ont été respectivement, évalués comparativement à la pénicilline utilisée comme témoin positif.

Ces réponses ne concordent pas à nos résultats obtenus dans la présente étude dont la différence résulte sans doute du type de solvant et de la procédure d'extraction utilisée qui peuvent influencer notablement le contenu photochimique déterminant du pouvoir antibactérien des extraits (Hussein et al., 2020).

Par ailleurs, la sensibilité des bactéries à Gram positif à l'activité des extraits aqueux des plantes médicinales riches en composés phénoliques tels (*Thymus vulgaris* et *Scutellaria brevibracteata* L) a été documentée dans de nombreuses publications scientifiques (Haroune, 2022 ; Kwiecień et al., 2023). L'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. objet de la présente étude a démontré un effet antimicrobien contre plusieurs germes pathogènes à Gram positif dont notamment *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Citrobacter spp* et *Kliebsella spp* et *Escherichia coli* (Hussein et al., 2020 ; Kapp et al., 2020).

Cet effet antimicrobien exercé par l'extrait de menthe serait certainement lié à son contenu en composés phénoliques dont le pouvoir inhibiteur de la croissance bactérienne a été bien observé contre les deux germes lactiques du yaourt testés ; *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*. A ce propos, il est bien établi que les plantes synthétisent des substances bioactives dont notamment les composés phénoliques en tant que moyen d'auto-défense pour lutter contre de nombreuses infections microbiennes (Bouarab et al., 2019) et à l'évidence peuvent aussi agir individuellement et/ou en synergie (Righi et al., 2020) in vitro comme agents antimicrobiens très efficaces contre plusieurs germes pathogènes et d'altérations (Ralte et al., 2022 ; Driouche et al., 2024). L'effet antibactérien de l'acide rosmarinique, détecté comme majoritaire dans l'extrait étudié, a été souligné par de nombreux chercheurs (Matejczyk et al., 2018 ; Bittner Fialová et al., 2020 ; Elansary et al., 2020 ; Hitl et al., 2021) en agissant par insertion sur la membrane cellulaire du microorganisme (Bais et al., 2002). Il a également été rapporté que l'acide caféique retrouvé à une forte proportion dans l'extrait de menthe possède des propriétés antibactériennes importantes (Elansary et al., 2020) causant des dommages cellulaires (Righi et al., 2020) par destruction de la membrane bactériennes. La présence des flavonoïdes dans l'extrait expérimental a aussi été associée à l'action inhibitrice de la prolifération des micro-organismes de par leur capacité à se lier aux protéines extracellulaires ainsi qu'aux parois cellulaires bactériennes et grâce à leur caractère lipophile qui est un facteur important de l'activité antimicrobienne chez particulièrement les germes à Gram négatif (Veiko et al., 2023). Il est aussi bien prouvé que parmi ces flavonoïdes les flavanones dont notamment la naringénine (Teng et al., 2018 ; Veiko et al., 2023), la lutéoline et l'apigénine (Kapp et al., 2020), ainsi que l'hespéridine et l'hespéretine (Choi et al., 2022) présents dans l'extrait à de faibles teneurs présentent éventuellement des propriétés antibactériennes très élevées à l'égard de nombreux microorganismes tels que *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*. Ces composés exercent leur effet antibactérien selon plusieurs mécanismes tels que la perturbation de la membrane bactérienne, l'inactivation des enzymes microbiennes et l'activation du système immunitaire de l'hôte (Duda et al., 2012 ; Choi et al., 2022). D'autres mécanismes peuvent également être impliqués dans l'activité antibactérienne des composés phénoliques dont :

réduction du niveau d'ATP par inhibition de l'ATPase membranaire (Nazzaro et al., 2013), altération de la transcription de l'ADN ou encore par action anti-Quorum Sensing (Dimitrova et al., 2023).

2.4. Qualité des yaourts à l'extrait de *Mentha piperita* L.

2.4.1. Bactéries spécifiques du yaourt

Les résultats du dénombrement des bactéries starters des yaourts expérimentaux obtenus dans la présente étude ont montré un développement croissant de ces germes en fonction du temps d'entreposage depuis le début de l'expérimentation jusqu'au 21^{ème} jour de conservation à 6°C. Cependant, pour tous les échantillons de yaourt élaborés, le germe *L.bulgaricus* semble être numériquement moins abondant que *S.thermophilus*. La présence de ces derniers dans une proportion deux fois supérieure à celle de *L.bulgaricus* dans la culture de départ du yaourt en serait l'une des raisons possibles de cette différence. L'intolérance au pH neutre du lait avant d'être fermenté serait aussi un facteur important expliquant le nombre réduit des *L.bulgaricus* dont la croissance est décalée par rapport aux *S.thermophilus* qui déclenchent la fermentation en produisant des métabolites tels l'acide formique et le CO₂ indispensables au développement de *L.bulgaricus* plus acido-tolérant, qui au pH acide du milieu prennent le relais et achèvent la fermentation en continuant à croître légèrement pendant la phase de post acidification des yaourts déroulée au froids positifs (6C°) (Irkin et Eren, 2008 ; Yamauchi et al., 2018, Yamamoto et al., 2021).

Par ailleurs, l'effet négatif de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. sur le développement des bactéries spécifiques du yaourt a été démontré par une régression hautement significative ($p < 0.01$) de 186 à 102 UFC/g et de 338 à 269 UFC/g du nombre de germes *Streptococcus thermophilus*, respectivement, à la fin des périodes de fermentation et de post-acidification, et de 120 à 66 UFC/g et 248 à 163 UFC/g en nombre de *Lactobacillus bulgaricus* respectivement, à la fin des périodes de fermentation et de post-acidification, selon l'augmentation de 0 à 6% de la proportion d'extrait incorporée dans produits expérimentaux. Néanmoins, tous les yaourts élaborés dans la présente étude avec ou sans extrait de menthe poivrée semblent bien répondre à la norme du Comité international du Codex Alimentarius (Joint FAO/WHO, 2003) qui stipule que les bactéries lactiques dans le yaourt doivent être viables et à un nombre au moins de 10⁷ UFC/g jusqu'à la date limite de consommation (DLC).

Nos résultats rejoignent ceux rapportés par plusieurs chercheurs qui ont eu l'idée d'incorporer dans le yaourt les extraits aqueux de différentes plantes médicinales dont notamment le thym (Haroune, 2022), la marjolaine et la sauge (Hasneen et al., 2020), ainsi que le romarin (Ali et al., 2021). Ces auteurs ont aussi constaté que ces extraits riches en composés phénoliques réduisaient la croissance des *S.thermophilus* et *L.bulgaricus*. Un recule d'environ 26% de la croissance de *S. thermophilus* et 14% de *L.bulgaricus* a été constaté dans un yaourt additionné à 6% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., récoltée dans la région de Ouargla en Algérie a été rapporté dans une étude menée par (Ait Chabane et al., 2021). Au contraire, d'autres travaux ont révélé une meilleure croissance des cultures de yaourt avec l'ajout d'extraits aqueux de Morinaga (Zhang et al., 2019a) et du thé sucré chinois (Abdel-Hamid et al., 2020). Cette diversité dans les résultats montre bien que la viabilité des cultures de yaourt dépend de l'espèce végétale ainsi

que de la concentration et de la qualité en substances phytochimiques contenus dans l'extrait (Abdel-Hamid et al., 2020) et qui peuvent avoir des effets antimicrobien inhibiteur (Hasneen et al., 2020 ; Ali et al., 2021 ; Haroune, 2022) ou prébiotique (Oh et al., 2016 ; Abdel-Hamid et al., 2020, Shori et al., 2021) stimulant vis-à-vis de la croissance des bactéries starters spécifiques du yaourt.

2.4.2. Qualité physicochimique

Une diminution significative ($p < 0.01$) du pH de 6.42, à 4.80 et à 4.26 en moyennes a été enregistrée, respectivement au temps zéro, après 4 heures de fermentation et après 21 jours de post-acidification. A la différence du pH, durant ces périodes un accroissement significatif ($p < 0.01$) de 18.34, à 78.60 et à 95.70 °D en moyennes a été constaté respectivement dans les yaourts additionnés ou non d'extrait aqueux de menthe poivrée. Ceci est sans doute dû à l'activité des *Streptococcus thermophilus* et des *Lactobacillus bulgaricus* qui, en coexistant ensemble dans la matrice du lait, réagissent de manière synergique en acidifiant le lait par fermentation du lactose en acide lactique, abaissent ainsi le pH du milieu tout en produisant d'autres composés tels les exopolysaccharides et l'acétaldéhyde qui modifient remarquablement les propriétés rhéologiques et sensorielles du yaourt par rapport à d'autres laits fermentés produits à partir d'une seule souche lactique (Georgala et al., 1995). La croissance et les aptitudes à la fermentation du lactose du lait en lactate de ces deux germes commencent au cours de la période de fermentation et continuent à se poursuivre même pendant le stockage des produits expérimentaux à 6 °C (Accolas et al., 1977 ; Zourari et al., 1992).

Cependant, l'ajout d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., à des concentrations variables de 0 à 6% s'est traduit par des valeurs de pH qui ont varié d'une manière proportionnelle et très significatives ($p < 0.01$) de 5.41 à 5.67, en moyennes, au cours de la fermentation et de 4.37 à 4.48, en moyennes, pendant toute la période de stockage à 6°C. Tandis qu'en fonction des variations de 0 à 6% des doses d'extrait l'acidité des yaourts a diminué respectivement de 46 à 42.03 °D, en moyennes, durant la fermentation et de 91.43 à 84.54 °D, en moyenne, pendant les 21 jours de post acidification. Ces résultats seraient la conséquence directe de la diminution de l'activité fermentaire des bactéries starters du yaourt dont les aptitudes à produire du lactate dans le milieu et la viabilité ont été sans doute affectées par l'ajout aux produits d'extrait aqueux riche en principaux composés phénoliques à effet antibactérien bien confirmé par de nombreux auteurs et retrouvés à de fortes concentrations comme particulièrement l'acide rosmarinique (Lobiu et al., 2023 ; Hitl et al., 2021), l'acide caféique (Luís et al., 2014), la lutéoline et l'apigénine (Kapp et al., 2020).

Des résultats similaires ont été constatés par (Ali et al., 2021) lors d'une étude portée sur l'amélioration des propriétés fonctionnelles du yaourt via l'ajout de différentes doses d'extrait aqueux de romarin, où ils ont attribué la hausse du pH et la baisse de l'acidité du yaourt traité à l'inactivation totale ou partielle des bactéries du yaourt par l'extrait de romarin contenant de nombreux composés bioactifs dont majoritairement l'acide rosmarinique. Il a été également suggéré qu'une plus grande perméabilité de la membrane cytoplasmique de ces bactéries suites à des contraintes de froids qui se manifestent au cours du refroidissement favorise plus l'absorption

de l'extrait de la plante étudiée tout en affectant davantage l'intégrité des cellules bactériennes (Gorissen et al., 2011).

D'autres études menées par plusieurs auteurs rapportent, au contraire, que l'ajout d'extraits aqueux de certaines plantes médicinales tels le thé vert chinois (Najgebauer-Lejko et al., 2011), le Moringa (Zhang et al., 2019a), et le thé doux chinois (Abdel-Hamid et al., 2020) dans la préparation du yaourt n'a pas eu d'effet significatif sur les valeurs de pH et l'acidité du milieu par rapport au yaourt témoin. Il ressort de ces constatations que les effets de l'ajout d'extraits des végétaux sur les valeurs de pH et de l'acidité du yaourt, les quels sont étroitement liées à la viabilité des bactéries starters, dépendent du genre de la plante utilisée et de sa richesse en principaux substances phénoliques (Ait Chabane et al., 2021) à forts pouvoirs antimicrobiens (Wei et al., 2023) et dont les contenus quantitatifs et qualitatifs peut être affectés par plusieurs facteurs du milieu (température, nature du sol, humidité...etc. (Iwaniuk & Lozowicka, 2022).

Comme il a été rapporté par (De Moura et al., 2019), les valeurs d'acidité mesurées à la fin de la fermentation et durant les 21 jours de post-acidification dans les yaourts expérimentaux avec ou sans extrait aqueux de menthe poivrée sont situées dans la fourchette des valeurs normales de 80 à moins de 150 °D et correspondant à un intervalle variable entre 0.8 g à moins de 1.5 g d'acide lactique/100 g de produit. Soulignons aussi que les yaourts préparés à 2 et à 4% d'extrait ont montré, globalement, une acidité très proche à celle du contrôle, probablement en raison d'une moindre altération à ces doses par les composés bioactifs constitutifs des bactéries lactiques (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) productrices de lactate par rapport à la dose sévère de 6% ajoutées dont les fortes teneurs en certains composés secondaires à effets antimicrobiens retrouvés dans la solution d'extrait testé composé en majorité de l'acide rosmarinique (Lobiu et al., 2023 ; Hitl et al., 2021) et l'acide caféique (Luís et al., 2014), ainsi que la lutéoline et l'apigénine (Kapp et al., 2020) ont certainement endommagé plus la croissance de ces deux germes spécifiques du yaourt et réduits d'avantages de leurs aptitudes fermentaire à produire plus de lactate dans le milieu.

Un autre critère considéré comme étant déterminant de la qualité du yaourt est bien la viscosité (Celik & Temiz, 2022). Dans la présente étude, de nettes augmentations ($p < 0.01$) de la viscosité de 0.88, à 16.56, à 45.24, 60.79, à 70.87 et à 76.16 m^2/s , en moyennes, ont été constatées en fonction du temps allant respectivement de 0 heure, à 2 heures et à 4 heures de fermentation et à 7, 14 et 21 jours de post-acidification. Ceci est probablement en relation avec le processus fermentaire et de coagulation lactique induit par les germes spécifiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* du yaourt qui commence au début de la fermentation et se poursuit même pendant la période de post-acidification provoquant une acidification du lait par production de lactate qui fait réduire le pH du milieu et provoque une dissolution du calcium colloïdal et une perte de la charge négative des micelles de caséines qui vont par voie de conséquence de plus en plus s'agréger à leur rapprochement du point isoélectrique ($pHi = 4.6$) offrant ainsi au yaourt une viscosité de plus en plus consistante (Koutina et al., 2015). La capacité de production d'exopolysaccharides (EPS) par les bactéries starters du yaourt dont particulièrement les bactéries *Streptococcus thermophilus* depuis le démarrage de la fermentation et partiellement les *Lactobacillus bulgaricus* pendant la période de poste acidification (Cerning

1990 ; Laws et al. 2001) serait une autre preuve pouvant expliquer les augmentations de viscosité constatées dans les produits expérimentaux. En effet, il est bien établi que ces EPS de nature polysaccharidique formés de glucose ainsi que du mannose, du rhamnose, de xylose et d'arabinose selon la souche, (Rul, 2017) renforcent la qualité rhéologique du caillage lactique du produit, de par leur capacité à interagir avec les protéines du lait (Sahan et al., 2008, Haroun, 2022), à se lier aux molécules d'eau, atténuant ainsi le phénomène de synérèse (Nikitina et al., 2023) et à former des filaments qui maintiennent la structure du gel stable (Schmidt et al., 1994).

Cependant, l'ajout d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., a des taux de 0, 2, 4 et 6% a engendré des baisses hautement significatives de la viscosité des yaourts ($p < 0.01$) ; de 24.43 à 16.47 m²/s en moyennes au cours de la fermentation et de 79.34 à 53.27 m²/s, en moyennes pendant toute la période de post acidification. Cette réduction de viscosité serait attribuable aux concentrations relativement élevées en composés phénoliques contenus dans l'extrait, qui se lient aux caséines du lait en formant des complexes insolubles et limitent leur solubilisation partielle dans le milieu aqueux du lait (Ramaswamy et Basak, 1992 ; Szotysik et al., 2021). La réduction de la viscosité du yaourt peut être également expliquée par l'inactivation de la production d'exopolysaccharides par *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* qui sont vulnérables aux composés phénoliques dotés de propriétés antibactériennes, particulièrement contre les bactéries à Gram-positives (Lobiuc et al., 2023). Nos résultats concordent à ceux rapportés par plusieurs chercheurs qui ont noté une diminution de la viscosité des yaourts additionnés d'extrait aqueux de *Thymus vulgaris* L. (Haroune, 2022), de l'aubépine (*Crataegus monogyna*), de sauge (*Salvia officinalis* L.), et de marjolaine (*Origanum vulgare* L.) (Dabija et al., 2018).

Néanmoins, d'autres études ont révélé plutôt une augmentation de la viscosité des yaourts supplémentés en extraits aqueux des feuilles d'olivier (Cho et al., 2020), de *Mentha pulegium* L. (Moghadam et al., 2021) et d'épillets de palmiers dattiers (Almusallam et al., 2021a). Cette discordance des résultats qui s'avère contradictoires pourrait être la conséquence des variations de la composition du yaourt formulé et que celles des cultures starters utilisées (Cais-Sokolinska & Pikul, 2004 ; Najgebauer-Lejko et al., 2011), de l'existence de composés pré-biotiques (Mohamed Ahmed et al., 2021) dans les extraits ayant activé les bactéries lactiques spécifiques du yaourt à produire davantage d'EPS de la variabilité dans la composition propre du yaourt formulé, des performances mais aussi des quantités en cultures starters utilisées (Cais-Sokolinska & Pikul, 2004 ; Najgebauer-Lejko et al., 2011) et des différences dans les méthodes ainsi que des conditions de traitement thermique appliqués lors des procédés d'élaboration (Sun-Waterhouse et al., 2013).

2.4.3. Qualité organoleptique

Le développement de nouvelles formulations alimentaires nécessite la définition des attentes des consommateurs et l'évaluation de leur appréciation, ce qui requiert la mise en œuvre d'une étude sensorielle rigoureuse sur laquelle reposerait le succès d'élaboration et de commercialisation d'un yaourt original renforcé d'extrait aqueux de menthe poivrée (Benmeziane et al., 2021). Dans la présente étude plusieurs critères organoleptiques ont été pris en compte pour évaluer la qualité sensorielle des yaourts expérimentaux, notamment la saveur (goût acide, fraîcheur et arrière-goût), l'aspect (adhésivité, cohésion et couleur) et l'odeur.

Il est bien admis que la saveur et l'appétence du yaourt dépendent de la présence de nombreux composés acides, volatils et aromatiques. Parmi ces composés, le lactate, produit par fermentation du lactose du lait par les bactéries spécifiques du yaourt, constitue le constituant le plus impliqué (Ott et al., 2000; Rash et al., 1990 ; Cheng, 2010). Dans la présente étude, le témoin standard a été le mieux apprécié par les panélistes pour son goût acidulé au cours des 21 jours de stockage, suivi de ceux préparés à 2 et à 4% ; tandis que pour la dose sévère de 6% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., la production du lactate semble être considérablement altérée et en conséquence le yaourt était faiblement accepté par les dégustateurs qui l'ont qualifié de relativement fade. Les composés bioactifs majoritaires retrouvés dans l'extrait et ajoutés dans le yaourt notamment à une dose sévère de 6% tels que l'acide rosmarinique, l'acide caféique, la lutéoline et l'apigénine s'ont à l'origine de ces réponses dont les effets antimicrobiens (Kapp et al., 2020 ; Luís et al., 2014 ; Hitl et al., 2021; Lobiu et al., 2023) exercés vis-à-vis des deux germes spécifiques du yaourt (*Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*) ont eu pour conséquence une baisse relative par rapport au témoin de leur aptitudes de production de lactate dans le milieu.

Outre le lactate, les quelques composés volatils tels que le menthol qui sont ramenés par l'extrait (Eftekhari et al., 2021) s'avèrent former une excellente combinaison avec les arômes classiques du yaourt (acétaldéhyde, diacétyl, acétone, acétoïne) qui ont conféré aux laits fermentés expérimentaux notamment préparés à 4% d'extrait aqueux un goût frais plus agréable que le témoin et très bien prisé par les dégustateurs particulièrement à la fin de la période de post acidification.

L'extrait de *Mentha piperita* L., ajouté semble n'avoir aucun effet ($p > 0.05$) sur le paramètre arrière-goût durant les 14 jours de stockage, pendant lesquels des notations très rapprochées ont été attribuées à tous les échantillons expérimentaux. Par contre, au 21^{ème} jour les panélistes semblent mieux préférer les produits moins enrichis en extrait de menthe. Ces résultats peuvent être expliqués probablement par l'arrière-goût amer apporté par certains composés phénoliques contenus dans l'extrait lorsqu'il est additionné au yaourt particulièrement à une forte dose tels que l'acide rosmarinique et les flavonoïdes (Weimann, & Heinrich, 1997).

Quant à l'adhésivité et la cohésivité, les yaourts semblent être de moins en moins acceptés par les panélistes avec l'augmentation des taux d'extrait incorporé. Néanmoins, le yaourt enrichi à 2% d'extrait a obtenu les mêmes scores que le témoin. Selon Rawsan & Marshal (1997) l'évaluation de la qualité rhéologique du yaourt dont la cohésivité et l'aspect collant est en relation avec la production d'exopolysaccharides par les ferments lactiques. Ceci suggère que la dégradation de ces deux paramètres rhéologiques dans notre étude résulterait d'une moindre production d'exopolysaccharides par les bactéries spécifiques du yaourt à savoir *S.thermophilus* et *L.bulgaricus* dont la prolifération serait ralentie davantage en présence des composés phénoliques de *Mentha piperita* L. ayant des effets antibactériens très bien reconnus notamment contre les bactéries à Gram positif (Wei et al., 2023).

En outre, les scores de couleur et de l'odeur les mieux appréciés par les dégustateurs ont été attribués au yaourt témoin et celui préparé à 2% d'extrait particulièrement à la fin du stockage. Il apparaît ainsi que l'ajout des principaux composés bioactifs contenus dans l'extrait aqueux de

menthe poivrée améliorent certaines qualités organoleptiques du yaourt jusqu'à une certaine concentration n'excédant pas 4% ; au-delà de laquelle les laits fermentés formulés risquent de perdre leur qualité sensorielle.

Nos résultats sont en accord avec ceux présentés par **Abdel-Hamid et al. (2020)** qui ont révélé une augmentation des scores d'acceptabilité sensorielle du yaourt pour des doses décroissantes d'incorporation d'extrait aqueux de thé doux chinois en soulignant que le produit préparé à 5% avait la meilleure évaluation sensorielle. Dans le même contexte d'études portées sur les propriétés organoleptiques des yaourts traités avec des extraits naturels, dans le but de vérifier leur acceptabilité par les consommateurs, **Jung et al. (2016)** ont montré que l'ajout d'extrait de ginseng à de faibles doses ne présentait pas d'effet significatif sur les paramètres sensoriels du yaourt ; alors qu'il a eu pour effet d'augmenter à la fois l'amertume, la saveur et l'arrière-goût du produit. Pour leur part, **Shokery et al. (2017)** ont constaté que l'apparence et l'odeur des yaourts additionnés d'extrait de feuilles de Moringa ont affiché d'excellents scores comparables au témoin.

En outre, **Almusallam et al. (2021b)** ont démontré une meilleure stabilité en terme de qualité sensorielle du yaourt étuvé par rapport au témoin standard suite à l'ajout de l'extrait d'épis de palmier dattier. Ainsi, il apparaît que cette divergence de propos sur l'effet d'ajout d'extrait de plante sur les variations de la qualité organoleptique des yaourts pourrait être due aux attributs sensoriels choisis; mais aussi aux concentrations d'extraits de plantes testées, ainsi qu'aux différentes méthodes d'évaluation sensorielles appliquées par chaque expérimentateur (**Shahbazi & Shavisi, 2019**).

2.4.4. Activité antioxydante du yaourt

Les mélanges d'extraits de plantes riches en composés phénoliques additionnés aux produits laitiers comme c'est le cas du thé au lait, qui est une boisson courante au Royaume-Uni ont fait l'objet d'un grand débat portant essentiellement sur leurs propriétés antioxydantes qui, selon de nombreuses études (**Kartsova & Alekseeva, 2008 ; Serafini et al., 2009**) peuvent être altérées. D'après ces auteurs cela est dû à la capacité de liaison des flavonoïdes contenus dans l'extrait aux protéines du lait ; ce qui réduit la biodisponibilité in vitro et in vivo de ces puissants composés antioxydants. Au contraire, d'autres auteurs ont démontré que le lait ajouté au thé ne réduit pas sa capacité antioxydante (**Leenen et al., 2000, Reddy et al., 2005**). Selon **Van het Hof et al. (1998)** cette discordance entre les différents résultats serait attribuable aux différents types de lait utilisés ainsi qu'aux proportions de celui-ci par rapport au thé.

Néanmoins d'après (**Van het Hof et al., 1998, Najgebauer-Lejko et al., 2011**) la diminution de la quantité de lait ou le recours au lait écrémé n'exercent aucune incidence négative sur l'augmentation de l'activité antioxydante du plasma après la consommation de thé.

Les résultats obtenus dans la présente étude soutiennent cette suggestion que l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., riche en composés phénoliques ne peut nuire à l'activité antioxydante des yaourts qui au contraire se trouve améliorée par l'ajout de ces composés bioactifs.

En effet, la supplémentation du yaourt avec seulement 2% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. a permis d'augmenter comparativement au témoin au 1^{er} et au 20^{ème} jour de stockage le

pourcentage d'inhibition du radical DPPH de 11.68 et 12.41% et celle de l'ABTS de 2.69 et 4.97% respectivement. Le pouvoir de piégeage le plus élevé pour ces deux radicaux a été obtenu avec les préparations de yaourt contenant 6% d'extrait aqueux, dépassant respectivement durant ces deux périodes de conservation au 1^{er} et au 20^{ème} jour celui du yaourt standard de 28.38 et 21.49% pour le test de DPPH et de 22.62 et 10.13% pour le test d'ABTS.

D'après la littérature, le pouvoir antioxydant du yaourt résulte en partie des aptitudes métaboliques des bactéries spécifiques du yaourt à produire des acides organiques et des peptides bioactifs (Cho et al., 2020). Cependant, le renforcement de ce pouvoir antioxydant dans les préparations de lait fermenté par l'ajout de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. semble être très évident en raison de sa grande richesse en principaux composés phénoliques antioxydants confirmées par de nombreux auteurs (Noor et al., 2022 ; Kim et al., 2020 ; Ghorbani et al., 2019) et constituées essentiellement d'acide rosmarinique ainsi que d'acide caféique, de cyanoside et de cosmosiine.

Nos résultats concordent à ceux rapportés par de nombreux auteurs ayant signalé que le recours à des préparations à base de plantes médicinales, notamment d'extraits aqueux augmente l'activité antioxydante des yaourts et des laits fermentés. En effet, il apparait que la supplémentation avec les extraits aqueux de *Stevia rebaudiana* (Park et al., 2016), de thé doux chinois (Abdel-Hamid et al., 2020), du mélange thé brésilien et clou de girofle (Ramos et al., 2017), et d'aubépine (Shahein et al., 2022) exercent une influence positive sur le renforcement du potentiel antioxydant du yaourt.

Néanmoins, dans la présente étude une nette diminution des valeurs de l'activité antioxydante en fonction du temps de stockage a été observée dans tous les yaourts expérimentaux, probablement induite par la baisse du pouvoir antioxydant des peptides bioactifs eux-mêmes influencés par les variations de la teneur en acides aminés et/ou par des changements dans leurs séquences suite à l'abaissement du pH du yaourt qui se poursuit même au cours de la période de post-acidification (Mashayekh et al., 2023). Amirdivani & Baba (2011) ont également rapporté une amélioration significative du niveau de l'activité de piégeage du radical DPPH par le rajout de l'extrait aqueux de l'aneth (*Anethum graveolens*) au yaourt et ont constaté aussi une réduction des activités antioxydantes après 7 jours de réfrigération expliquée par une dégradation plus importante des composés phénoliques antioxydants constitutifs en fonction du temps et/ou une intensification de l'interaction de ces composé bioactifs avec les protéines du lait (Vital et al., 2015 ; Mohamed Ahmed et al., 2021). De ce point de vue, il apparait clair que la consommation du yaourt avant l'expiration de la dizaine de jours suivant sa production est fortement recommandée afin d'allier à la fois le bénéfice santé du nombre élevé en bactéries lactiques vivantes probiotiques se trouvant dans le milieu (Van de Water et al., 1999) et la haute activité antioxydante protectrice des maladies cardiovasculaires (Massey, 2001 ; Amirdivani & Baba, 2011) que peut exercer les composés bioactifs ramenés par les extraits des plantes ajoutés.

Les résultats d'évaluation du degré de peroxydation spontanée des lipides par la méthode dite de TBARS, basée sur la mesure du taux de malonaldéhyde (MDA) produit par kilogramme de yaourt ont montré un accroissement significatif ($P < 0.01$) du taux de MDA en fonction du temps dans tous les produits expérimentaux préparés avec ou sans extrait aqueux de menthe poivrée ;

soit des valeurs qui ont varié de 0.62, à 0.78 et à 1.46 mg MDA/kg de yaourt en moyennes respectivement au 1^{er}, 10^{ème} et 20^{ème} jour de stockage à 6°C.

Apparemment, au cours de la période de stockage, tous les yaourts expérimentaux ont subi sans exception une peroxydation lipidique. Néanmoins, en présence d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. cette lipo-peroxydation tend à être de moins en moins intense ($P < 0.01$) avec l'augmentation de 0, à 2, à 4 et à 6% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. incorporé dans le yaourt ; soit des teneurs de malonaldéhyde qui ont varié respectivement de 0.78, à 0.65, à 0.49 et à 0.57 mg MDA/kg de yaourt au 1^{er} jour et de 1.52, à 1.49, à 1.45 et à 1.36 mg MDA/kg de produit après 20 jours de réfrigération au froid positif de 6°C. Un tel résultat suggère que l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. additionné est en mesure d'agir comme un véritable protecteur de la matière grasse du yaourt contre le phénomène de peroxydation, assurant ainsi une meilleure conservation du produit et une prolongation de sa durée de vie. Des résultats similaires ont été suggérés dans plusieurs études portant sur l'enrichissement de yaourts avec des extraits aqueux de certaines plantes végétales. A ce propos, **Dogan et al. (2022)** ont signalé que les extraits de coques d'amandes, de noix et de pistaches pouvaient atténuer de près de 50% le phénomène de peroxydation lipidique du yaourt. De même, **Mohamed Ahmed et al. (2021)** ont montré une réduction dose-dépendante de la valeur des TBARS dans le yaourt supplémenté en extrait aqueux de feuille d'argel. Par ailleurs, les travaux de **Jaimes-Gualdrón et al. (2019)** ont rapporté un effet protecteur significatif de la mixture d'extraits aqueux de raisin et de corozo vis-à-vis de certains composés du yaourt dont notamment la fraction lipidique.

2.4.5. Profil lipidique des yaourts

La fraction lipidique du lait et de ses dérivés conditionne dans une large mesure la qualité du produit, tant sur le plan physique et sensoriel que sur le plan nutritionnel. La matière grasse du lait comprend divers groupes d'acides gras (des acides gras à chaîne courte et moyenne, saturés et insaturés, mono et polyinsaturés), lesquels pourraient avoir un impact positif ou négatif sur le bien-être du consommateur (**Paszczyk & Tońska, 2022**).

Le contenu en matière grasse totale n'a pas connu de grands changements ($p > 0.05$) durant l'expérimentation dans les produits expérimentaux qui ont accusé des taux variables seulement de 1.82 à 1.84 g/100g de produit.

Toutefois, au 20^{ème} jour par comparaison au 1^{er} jour de stockage le témoin et le yaourt préparé à 4% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* ont enregistré des baisses non significatives ($p > 0.05$) des teneurs en lipides totaux évaluées respectivement d'environ 1.13 et 0.70%. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par **Nazir et al. (2022)** et **Barkallah et al. (2017)**, qui ont également constaté des diminutions moins importantes estimées à 0.02% de la teneur en matière grasse de tous les échantillons de yaourt en fonction du temps de stockage. De telles diminutions seraient attribuables à la lipolyse induite par les lipases des cultures starters du yaourt. Ce processus qui semble moins important dans le yaourt supplémenté d'extrait de menthe poivrée riche en composés phénoliques possédant de forts pouvoirs antioxydants protecteurs de la lipo-peroxydation des lipides (**Bouzouina et al., 2016**) est bien connu comme l'un des principaux phénomènes biochimiques pouvant affecter considérablement la stabilité des lipides et la durée de vie de nombreux produits laitiers (**Alirezalu et al., 2019**).

Les résultats d'analyse du profil des acides gras par GC-FID ont révélé un accroissement au cours de la conservation de la teneur en certains acides gras dans les échantillons de yaourt contenant ou non de l'extrait aqueux de *Mentha piperita* L., dont particulièrement l'acide laurique (C12:0), l'acide myristique (C14:0), l'acide palmitique (C16:0), l'acide palmitoléique (C16:1), l'acide stéarique (C18:0), l'acide oléique (C18:1n7) et l'acide linoléique (C18:2n6). Une telle progression serait probablement due aux ferments lactiques du yaourt qui continuent à être actifs pendant la période de post-acidification et qui ont modifié par l'action lipolytique des lipases secrétées le profil lipidique du produit en réponse aux variations des conditions environnementales (Tidona et al., 2018 ; Baharmi et al., 2020).

Malgré les effets non significatifs des résultats ($p > 0.05$), l'extrait aqueux de menthe poivrée ajouté au yaourt comme additif naturel semble réduire relativement le taux des acides gras saturés (AGS) et insaturés (AGIS) respectivement d'environ 0.16% et 0.82% comparativement au témoin. Ceci suppose que les composés phénoliques contenus dans l'extrait et constitués majoritairement d'acide rosmarinique, d'acide caféique, de cyanoside et de cosmosiine possèdent un réel pouvoir antioxydant confirmé par plusieurs auteurs (Elansary et al., 2020) et qui s'avèrent dans cette étude préserver la fraction lipidique d'une éventuelle oxydation intensive des AGPI et des AGMI constitutifs au cours de la conservation.

Par ailleurs, tous les échantillons de yaourts analysés ont montré des niveaux considérables en AGS affichant des quantités 2 fois plus élevées que celles des AGIS dont les taux en acides gras monoinsaturés (AGMI) étaient 9 fois plus élevés que ceux des acides gras polyinsaturés (AGPI). Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Caleja et al (2016) qui ont montré la même hiérarchisation en terme d'abondance de ces groupes d'acides gras (AGS > AGMI > AGPI) dans les yaourts enrichis avec des décoctions de fenouil pendant un stockage de 14 jours. Il est bien évident que les doubles liaisons des AGMI et des AGPI sont les cibles privilégiées des espèces réactives de l'oxygène et par conséquent l'insaturation des acides gras favoriserait leur peroxydation, susceptible de conférer au produit des saveurs rances et désagréables limitant sa durée de conservation (Innosa et al., 2019). Cependant, l'ajout de l'extrait de menthe poivrée riche en composés phénoliques à fort pouvoir antioxydant (Elansary et al., 2020) semble bien réduire ($P < 0.01$) le contenu en acides gras à chaînes courtes et moyennes (AGCCM) des yaourts dont notamment les acides butyrique (C4 :0), caproïque (C6 :0) et caprylique (C8 :0). Ce résultat est très intéressant sur le plan organoleptique puisque ce groupe d'acides gras est responsable de la saveur âcre indésirable du yaourt (Savinova et al., 2022) et d'un point de vue santé en raison qu'il favorise le développement des maladies coronariennes chez l'homme (Ebbesson et al., 2015 ; Bianchi et al., 2017).

Par ailleurs, la teneur en acide linoléique (C18:2n6), un acide gras essentiel appartenant à la famille des oméga-6 que le corps humain ne peut synthétiser, a été nettement améliorée enfin d'entreposage d'environ 49,11% dans le yaourt supplémenté avec 4% d'extrait par rapport au témoin. Toutefois, cet extrait n'a pas préservé convenablement le contenu en acide α -linoléique (C18 :3n3) de la famille des oméga-3 qui a totalement disparu dans le yaourt expérimental en terme de la conservation, après 20 jours. Ces résultats s'avèrent dépendre de la quantité et de la qualité en composés phénoliques ramenés par l'extrait de menthe poivrée constitués

principalement d'acide rosmarinique, d'acide caféique, de cyanoside et de cosmosiine ayant un fort pouvoir antioxydant (**Elansary et al., 2020**) démontré particulièrement à l'égard de l'acide linoléique (C18:2n6) qui a été très bien préservé dans le yaourt expérimental au cours des 20 jours de conservation contrairement à l'acide α -linoléique (C18 :3n3). Pour une meilleure stabilité de ces deux acides gras essentiels pendant la conservation d'autres investigations sur l'impact d'ajout des concentrations d'extrait supérieures à 4% sont plus que nécessaires pour améliorer les rapports $\omega 6/\omega 3$ des yaourts qui ne semblent pas s'inscrire dans l'intervalle requis de 1 à 5 du point de vue nutritionnel (**Lupette & Benning, 2020**).

Conclusion partielle

L'extrait riche en composés bioactifs de *Mentha piperita* L., récoltée à Ouargla par usage de l'eau comme solvant d'extraction a montré un rendement considérable de 19.05%. Le contenu phénolique total de cet extrait aqueux a été estimé à 93.31 mg EAG/g d'extrait lyophilisé, composé principalement d'acides phénoliques à 89.78% parmi lesquels l'acide rosmarinique a représenté le constituant le plus abondant avec une teneur de 86.73 mg/g d'extrait sec. Le contenu en flavonoïdes totaux de l'extrait a constitué également une part importante, estimé à 85.83 mg EQ/g d'extrait sec, avec une prédominance des flavones à 76.36 %. Les flavanones, les flavonols et les isoflavones ont été également signalés à dans des proportions de 1.738, 0.268 et 0.008 mg/g d'extrait sec, respectivement. Ces substances bioactives ont conféré à l'extrait aqueux de menthe poivrée analysé un pouvoir antioxydant non négligeable démontré par des IC50 de 5.37 mg/ml au test de DPPH et de 4.36 mg/ml au test d'ABTS. L'extrait a également dévoilé une activité antimicrobienne de type bactéricide vis-à-vis des bactéries spécifiques du yaourt à des concentrations de 60%.

L'enrichissement des préparations de yaourt étuvé par les solutions d'extrait aqueux de menthe poivrée a permis de renforcer considérablement leurs pouvoirs antioxydants de 11.68 à 12.41% selon le test de DPPH et de 2.69 à 4.97% d'après le test d'ABTS par rapport au témoin, respectivement au 1^{er} et au 20^{ème} jour de stockage, tout en maintenant intact les caractéristiques physicochimiques et microbiologiques des produits.

L'extrait aqueux de menthe poivrée ajouté au yaourt a réduit relativement ($p > 0.05$) les taux en acides gras saturés (AGS) et insaturés (AGIS) respectivement d'environ 0.16 et 0.82% comparativement au témoin. Il s'avère aussi réduire remarquablement ($P < 0.01$) le contenu du produit en certains acides gras à chaînes courtes et moyennes (AGCCM) dont particulièrement les acides butyrique (C4 :0), caproïque (C6 :0) et caprylique (C8 :0). Par ailleurs, l'acide linoléique (C18:2n6), qui est un acide gras essentiel, a été nettement amélioré enfin d'entreposage d'environ 49,11% dans le yaourt supplémenté d'extrait de menthe à 4% par rapport au yaourt standard.

En terme de qualité organoleptique, durant toute la période de conservation par comparaison au yaourt habituel, les panélistes ont éventuellement très bien classé au plan de l'arrière-goût et de la fraîcheur les yaourts renforcé d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. à 4%.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'usage d'extraits de *Mentha piperita* L. comme additif naturel semblent constituer un choix judicieux pour préserver et améliorer la qualité du yaourt étuvé dont l'intégration s'avère une approche pratique naturelle pour renforcer sa teneur en composés phénoliques pouvant non seulement améliorer ses caractéristiques antioxydantes mais également sa fraction lipidique.

Le méthanol aqueux a montré une meilleure sélectivité à extraire les principaux composés phénoliques contenus dans la partie aérienne de la plante par rapport à la solution hydro-éthanolique et l'extraction à l'eau ; les teneurs ont été estimées à 412.32, 359.61 et 93.31 mg EAG/g d'extrait lyophilisé, respectivement, représentées en grande partie de 89.78 à 93.80 % d'acides phénoliques dont l'acide rosmarinique a été le composé le plus abondant avec des teneurs qui ont varié de 86.73 à 346.88 mg/g d'extrait lyophilisé. Ces extraits s'avèrent également contenir des concentrations importantes en flavonoïdes totaux (variables de 227.65 à 219.77, et à 85.83 mg EQ/g d'extrait lyophilisé, successivement) représentés essentiellement par les flavones, flavanones et flavonols.

La présence à la fois abondante et variée en composés phénoliques s'avère conférer aux extraits étudiés d'une part une activité antioxydante considérable qui s'est traduit par des valeurs d'IC50 variables entre 3.2 et 5.37 mg/ml mesurées par le test au DPPH et entre 2.50 et 4.36 mg/ml obtenu par l'essai à l'ABTS et en d'autre part une activité antimicrobienne remarquable de type bactéricide vis-à-vis des bactéries spécifiques du yaourt à des concentrations de 60, 40 et 60% pour respectivement, les extraits hydro-éthanolique, hydro-méthanolique et aqueux de menthe poivrée.

La mise au point d'un yaourt étuvé alicament par l'incorporation d'extraits phénoliques de *Mentha piperita* L., semble être obtenu avec succès dans le cadre de cette étude. En effet, même à une faible dose de 2% l'incorporation des extraits de la plante a permis de renforcer considérablement (11.68 à 38.66 %) le potentiel antioxydant des yaourts expérimentaux en les maintenant ainsi au cours de toute la période de conservation à 6°C à un niveau de protection adéquat vis-à-vis d'une éventuelle oxydation exagérée de la matière grasse constitutive, tout en préservant par ailleurs dans les normes admises leurs qualités physico-chimiques (acidité inférieure à 150°D), microbiologiques (10^6 germes spécifiques vivants/g de produit), ainsi qu'organoleptiques.

L'incorporation d'extraits de menthe particulièrement à une proportion de 4% a engendré par ailleurs une nette amélioration du profil lipidique des yaourts caractérisée par une augmentation de la teneur en acides gras du groupes des oméga-3, dont particulièrement l'acide α -linoléique (C18:3n3) qui a connu par comparaison au témoin des hausses d'environ 42.19 et 56.51 % avec l'extrait hydro-éthanolique et de 18.64 et 14.96% avec l'ajout d'extrait hydrométhanolique, respectivement, au 1^{er} et 20^{ème} jour de stockage au froid. L'acide linoléique (C18:2n6) considéré comme étant le second acide gras essentiel a été aussi très bien préservé après 20 jours de stockage à 6°C dans les yaourts additionnés d'extrait hydro-méthanolique et d'extrait aqueux à 4% ou des augmentations significatives ($p < 0.01$) d'environ 9.45% et de 49.11% par rapport au

témoin ont été successivement enregistrées. Les rapports oméga-6/oméga-3 enregistrés dans les yaourts à 4% d'extrait hydro-alcoolique de *Mentha piperita* L., s'avère en outre s'inscrire pleinement dans la norme admise contrairement au témoin qui a accusé les valeurs les plus médiocres de 6.76 et 5.21 au début et en fin de la période de conservation.

La présente étude a bien montré la possibilité de concevoir un nouveau produit laitier alicament alliant les bienfaits probiotiques d'un yaourt et les vertus santé des composés bioactifs de *Mentha piperita* L. L'efficacité démontrée de l'enrichissement du yaourt par les extraits phénoliques de cette plante dans le renforcement de son potentiel antioxydant ainsi que la préservation de sa fraction lipidique et l'amélioration de son profil en acides gras essentiels indispensables à la santé humaine, ouvre en outre de nouvelles perspectives d'exploitation de ces extraits comme additifs naturels pouvant réduire les effets néfastes sur la santé des additifs chimiques usuellement utilisées et améliorer la qualité des produits agroalimentaires transformés au cours de la conservation.

En perspective, il serait très intéressant de mener d'autres études complémentaires afin de mieux connaître le pouvoir antioxydant, l'activité antimicrobienne, l'innocuité et l'efficacité nutraceutique des composés phénoliques de *Mentha piperita* L. utilisés comme additifs naturels dans la préservation et l'amélioration de la qualité des produits alimentaires transformés dont :

- ✓ Evaluation des conséquences in vivo et cliniques d'une ingestion des composés phénoliques de menthe poivrée en situations physiopathologiques diverses (diabète, hypercholestérolémie, cancers, immunodépression, ...etc.).
- ✓ Optimisation des effets synergiques des principaux composés phénoliques de menthe poivrée après criblage sur la qualité du yaourt : Impact sur les bactéries probiotiques et formulation de nouveaux laits fermentés nutraceutiques appropriés au bien-être du consommateur.
- ✓ Evaluation du profil aromatique des extraits de *Mentha piperita* L et impact sensoriel sur les arômes naturels du yaourt.
- ✓ Mise en œuvre dans la fabrication des yaourts fonctionnels enrichis d'extraits de menthe de nouvelles techniques d'extraction des composés phénoliques de la plante (telles l'extraction assistée par micro-ondes et enzymes, extraction par champ électrique pulsé, extraction assistée par ultrasons et micro-ondes, extraction simultanée par ultrasons et micro-ondes, extraction par fluide supercritique et sous pression) pouvant présenter de meilleurs rendement pour des cout de revient (opérationnels et énergétiques) réduits et nécessitant des temps d'extraction plus courts.

En fin, il appartient au gouvernement Algérien de mettre en place une stratégie efficace pouvant encourager les agriculteurs à cultiver à large échelle les herbes médicinales dont *Mentha piperita* L. et par conséquent faciliter leur approvisionnement et leur exploitation constant dans les divers domaines d'intérêts : agroindustriel, pharmacognosie, pharmaceutique, culinaire...etc.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aamir, M., Arshad, A., Afzaal, M., Rakha, A., Jalel Mahsen Oda, N., Nadeem, M., ... & Asif Shah, M. (2023).** Physicochemical and sensory profile of spiced yogurt as affected by ginger supplementation. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 2732-2741. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2254021>.
- Abd El-Aziz, M. A., Salama, H. H., & Sayed, R. S. (2023).** Plant extracts and essential oils in the dairy industry: a review. *Foods and Raw Materials*, 11(2), 321-337. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-579>
- Abdel-Hamid, M., Huang, Z., Suzuki, T., Enomoto, T., Hamed, A. M., Li, L., & Romeih, E. (2020).** Development of a multifunction set yogurt using *Rubus suavissimus* S. Lee (Chinese sweet tea) extract. *Foods*, 9(9), 1163. <https://doi.org/10.3390/foods9091163>.
- Abdellatif, S. A., Beheiry, R. R., & El-Mandrawy, S. A. (2017).** Peppermint essential oil alleviates hyperglycemia caused by streptozotocin-nicotinamide-induced type 2 diabetes in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 95, 990-999. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.09.020>.
- Abdolshahi, A., Naybandi-Atashi, S., Heydari-Majd, M., Salehi, B., Kobarfard, F., Ayatollahi, S. A., Ata, A., Tabanelli, G., Sharifi-Rad, M., & Sharifi-Rad, J. (2018).** Antibacterial activity of some Lamiaceae species against *Staphylococcus aureus* in yoghurt-based drink (Doogh). *Cellular and Molecular Biology*, 64(8), 71-77. <http://dx.doi.org/10.14715/cmb/2018.64.8.11>.
- Abou-Zeid, N. A. (2016).** The nutraceutical effects of dairy products fortification with plant components: a review. *Int Adv Res Sci Eng Technol*, 3, 1475-1482.
- Achat, S. (2013).** Polyphénols de l'alimentation: extraction, pouvoir antioxydant et interactions avec des ions métalliques (Doctoral dissertation, Université d'Avignon; Université Abderrahmane Mira, Bejaïa, Algeria; pp :. 261.
- Adjou, E. S., René, D., Edwige, D. A., & Soumanou, M. M. (2017).** Chemical composition and biological activity of essential oil from *Mentha Piperita* L. leaves on the quality of Mango puree during storage. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(2), 97. <http://dx.doi.org/10.15414/jmbfs.2017.7.2.97-100>.
- Agroligne, 2015.** L'essentiel de l'agroalimentaire et l'agriculture; n° 97, le marché des industries alimentaires en Algérie, pp. 12-13.
- Ahmed, Z. F., Kaur, N., & Hassan, F. E. (2022).** Ornamental date palm and sidr trees: Fruit elements composition and concerns regarding consumption. *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 17-34. <http://dx.doi.org/10.1080/15538362.2021.1995570>.
- Ait Chabane, O. A., Saada, D. A., Bensoula, S., Moulay, M., Ghomri, I., & Guemidi, C. (2021).** Antimicrobial effects of the phenolic compounds of *Mentha piperita* L on *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* and impacts on the quality of an alicament steamed yogurt. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 11(6), 646-666.

10.38150/sajeb.11(6).p646-666. [http://dx.doi.org/ http://dx.doi.org/10.38150/sajeb.11\(6\).p646-666](http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.38150/sajeb.11(6).p646-666).

Ait-Ouazzou, A., Lorán, S., Arakrak, A., Laglaoui, A., Rota, C., Herrera, A., Pagán, R., & Conchello, P. (2012). Evaluation of the chemical composition and antimicrobial activity of *Mentha pulegium*, *Juniperus phoenicea*, and *Cyperus longus* essential oils from Morocco. *Food Research International*, 45(1), 313-319. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.09.004>.

Akan, E., Yerlikaya, O., Bayram, O. Y., & Kinik, O. (2022a). Viability of Probiotics, Rheological and the Sensorial Properties of Probiotic Yogurts Fortified with Aqueous Extracts of Some Plants. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94, e20211274. <https://doi.org/10.1590/0001-376520220211274>.

Akan, E., Yerlikaya, O., Bayram, O. Y., & Kinik, O. (2022b). The effect of aqueous extracts of some plants on in vitro antioxidant and antidiabetic activity of probiotic yogurt. *Journal of Food Science and Technology*, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05319-7>.

Akbari, F., Rezaei, M., & Khatony, A. (2019). Effect of peppermint essence on the pain and anxiety caused by intravenous catheterization in cardiac patients: a randomized controlled trial. *Journal of pain research*, 2933-2939. <https://doi.org/10.2147/JPR.S226312>.

Alam, M. A., Subhan, N., Hossain, H., Hossain, M., Reza, H. M., Rahman, M. M., & Ullah, M. O. (2016). Hydroxycinnamic acid derivatives: a potential class of natural compounds for the management of lipid metabolism and obesity. *Nutrition & metabolism*, 13, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12986-016-0080-3>.

Alappat, B., & Alappat, J. (2020). Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. *Molecules*, 25(23), 5500. <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>.

Alenisan, M. A., Alqattan, H. H., Tolbah, L. S., & Shori, A. B. (2017). Antioxidant properties of dairy products fortified with natural additives: A review. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 24, 101-106. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2017.05.001>.

Ali Asgar, M. D. (2013). Anti-diabetic potential of phenolic compounds: A review. *International Journal of Food Properties*, 16(1), 91-103. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.595864>.

Ali, H. I., Dey, M., Alzubaidi, A. K., Alneamah, S. J. A., Altemimi, A. B., & Pratap-Singh, A. (2021). Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) supplementation on probiotic yoghurt: Physicochemical properties, microbial content, and sensory attributes. *Foods*, 10(10), 2393. <https://doi.org/10.3390/foods10102393>.

Ali, Y. A., Ahmed, O. M., Soliman, H. A., Abdel-Gabbar, M., Al-Dossari, M., Abd El-Gawaad, N. S., El-Nahass, E.; & Ahmed, N. A. (2023). Rutin and Hesperidin Alleviate Paclitaxel-Induced Nephrocardiotoxicity in Wistar Rats via Suppressing the Oxidative Stress and Enhancing the Antioxidant Defense Mechanisms. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/5068304>.

Alilou, H., Hassani, LMI., Barka, N., Bencharki, B., (2014).Screening phytochimique et identification spectroscopique des flavonoïdes d'*Asteriscusgraveolens* subsp. *odorus.*, Afrique Science 10(3) 316 – 328.

Alirezalu, K., Inácio, R. S., Hesari, J., Remize, F., Nemati, Z., Saraiva, J. A., Barba, F. G., Sant'Ana, A. S., & Lorenzo, J. M. (2019). Nutritional, chemical, syneresis, sensory properties, and shelf life of Iranian traditional yogurts during storage. *LWT*, 114, 108417. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108417>.

Al-Khayri, J., Nagella, P., R, S.G., Alessa, F.M., & Al-Mssallem, M.Q. (2022). Flavonoids as potential anti-inflammatory molecules: A review. *Molecules*, 27 (9), 2901. <https://doi.org/10.3390/molecules27092901>.

Almasi, K., Esnaashari, S. S., Khosravani, M., & Adabi, M. (2021). Yogurt fortified with omega-3 using nanoemulsion containing flaxseed oil: Investigation of physicochemical properties. *Food Science & Nutrition*, 9(11), 6186-6193. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2571>.

Almatroodi, S. A., Alsahli, M. A., Almatroudi, A., Khan, A. A., & Rahmani, A. H. (2021). Peppermint, (*Mentha piperita*): role in management of diseases through modulating various biological activities. *Pharmacognosy Journal*, 13(3). <https://doi.org/10.5530/pj.2021.13.104>.

Almusallam, I. A., Ahmed, I. A. M., Babiker, E. E., Al-Juhaimi, F. Y., Saleh, A., Qasem, A. A., ... & Al-Shawaker, A. S. (2021a). Effect of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) spikelets extract on the physicochemical and microbial properties of set-type yogurt during cold storage. *LWT*, 148, 111762. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111762>.

Almusallam, I. A., Mohamed Ahmed, I. A., Saleh, A., Al-Juhaimi, F. Y., Ghafoor, K., Al Maiman, S., & Babiker, E. E. (2021b). Potential of date palm spikelet extract as an anti-oxidative agent in set-type yogurt during cold storage. *CyTA-Journal of Food*, 19(1), 190-197. <https://doi.org/10.1080/19476337.2021.1877826>.

Al-Otaibi, M., & El Demerdash, H. (2008). Improvement of the quality and shelf life of concentrated yoghurt (labneh) by the addition of some essential oils. *African Journal of Microbiology Research*, 2(7), 156-161.

Al-Shawi SG (2020) The possibility of producing synbiotic yogurt containing mint extracts. *Eurasia J Biosci* . 14: 2339-2345.

Al-Tawarah, N. M., Al-Dmour, R. H., Abu Hajleh, M. N., Khleifat, K. M., Alqaraleh, M., Al-Sarairah, Y. M., Jaradat, A. Q., & Al-Dujaili, E. A. (2023). Rosmarinus officinalis and Mentha piperita Oils Supplementation Enhances Memory in a Rat Model of Scopolamine-Induced Alzheimer's Disease-like Condition. *Nutrients*, 15(6), 1547. <https://doi.org/10.3390/nu15061547>.

Al-Turki, A. I., El-Ziney, M. G., & Abdel-Salam, A. M. (2008). Chemical and anti-bacterial characterization of aqueous extracts of oregano, marjoram, sage and licorice and their application in milk and labneh. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(1), 39.

Al-Zaben, M., Zaban, M. A., Naghmouchi, S., Nasser Alsloom, A., Al-Sugiran, N., & Alrokban, A. (2023). Comparison of phytochemical composition, antibacterial, and antifungal

activities of extracts from three organs of *Pistacia lentiscus* from Saudi Arabia. *Molecules*, 28(13), 5156. <https://doi.org/10.3390/molecules28135156>.

Amara, K. (2017). In vitro production of *Ganoderma lucidum* mycelium from northeast Portugal: The antioxidant potential of tocopherols extract in the preservation of natural yogurt (these de Doctorat) dissertation, Instituto Politecnico de Braganca (Portugal).73p

Amarowicz, R., Pegg, R. B., Rahimi-Moghaddam, P., Barl, B., & Weil, J. A. (2004). Free-radical scavenging capacity and antioxidant activity of selected plant species from the Canadian prairies. *Food chemistry*, 84(4), 551-562. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00278-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00278-4).

Ameer, K., Shahbaz, H. M., and Kwon, J. H. (2017). Green extraction methods for polyphenols from plant matrices and their byproducts: a review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 16, 295–315. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12253>..

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. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.019>.

Amirdivani, S., & Baba, A. S. H. (2015). Green tea yogurt: major phenolic compounds and microbial growth. *Journal of food science and technology*, 52, 4652-4660. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1670-6>.

Anderson, J. W., Randles, K. M., Kendall, C. W., & Jenkins, D. J. (2004). Carbohydrate and fiber recommendations for individuals with diabetes: a quantitative assessment and meta-analysis of the evidence. *Journal of the American College of Nutrition*, 23(1), 5-17.

Andrak, D., Jacques, D., & Weber, A. (2022). Cultured Milk. In *Superfoods: Cultural and Scientific Perspectives* (pp. 81-96). Cham: Springer International Publishing.

Añibarro-Ortega, M., López, V., Núñez, S., Petrović, J., Mandim, F., Barros, L., Sokovi, ., Ferreira, I. C.F. R., Dia, M. I., & Pinela, J. (2024). Phenolic composition and in vitro bioactive and enzyme inhibitory properties of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plant extracts. *Industrial Crops and Products*, 214, 118546. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118546>.

Anjali, Kumar, S., Korra, T., Thakur, R., Arutselvan, R., Kashyap, A.S., Nehela, Y., Chaplygin, V., Minkina, T., Keswani, C., .& Keswani, C. (2023). Role of plant secondary metabolites in defence and transcriptional regulation in response to biotic stress. *Plant Stress*, 8, 100154.). <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100154>.

Antolak, H., Piechota, D., & Kucharska, A. (2021). Kombucha tea—A double power of bioactive compounds from tea and symbiotic culture of bacteria and yeasts (SCOBY). *Antioxidants*, 10(10), 1541. <https://doi.org/10.3390/antiox10101541>.

Anwar, F., Jamil, A., Iqbal, S., & Sheikh, M. A. (2006). Antioxidant activity of various plant extracts under ambient and accelerated storage of sunflower oil. *Grasas y Aceites*, 57(2), 189-197.

- AOAC (2005).** Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International. Gaithersburg, USA.
- Arakawa, T., Shibata, M., Hosomi, K., Watanabe, T., Honma, Y., Kawasumu, K., & Takeuchi, Y. (1992).** Anti-allergic effects of peppermint oil, chicle and jelutong. *Food Hygiene and Safety Science (Shokuhin Eiseigaku Zasshi)*, 33(6), 569-575_1.
- Araújo, M., Pimentel, F. B., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. (2015).** Phenolic compounds from olive mill wastes: Health effects, analytical approach and application as food antioxidants. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 200-211.
- Ardö, Y. (2021).** Enzymes in cheese ripening. *Agents of Change: Enzymes in Milk and Dairy Products*, 363-395. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55482-8_15.
- Areias, F. M., Valentao, P., Andrade, P. B., Ferreres, F., & Seabra, R. M. (2001).** Phenolic fingerprint of peppermint leaves. *Food chemistry*, 73(3), 307-311.
- Ares, G., GonCALvez, D., PERez, C., Reolon, G., Segura, N., Lema, P., & Gámbaro, A. (2007).** Influence of gelatin and starch on the instrumental and sensory texture of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 60(4), 263-269.
- Arioli, S., Della Scala, G., Remagni, M. C., Stuknyte, M., Colombo, S., Guglielmetti, S., De Noni, I., Ragg, E., & Mora, D. (2017).** Streptococcus thermophilus urease activity boosts Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus homolactic fermentation. *International journal of food microbiology*, 247, 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.01.006>.
- Arioui, F., Ait Saada, D., & Cheriguene, A. (2017).** Physicochemical and sensory quality of yogurt incorporated with pectin from peel of *Citrus sinensis*. *Food Science & Nutrition*, 5(2), 358–364. <https://doi.org/10.1002/fsn3.400>.
- Aryal, S., Baniya, M. K., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R., & Koirala, N. (2019).** Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from Western Nepal. *Plants*, 8(4), 96. <https://doi.org/10.3390/plants8040096>.
- Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017).** A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of dairy science*, 100(12), 9987-10013. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12981>.
- Asif, M., Saleem, M., Saadullah, M., Yaseen, H. S., & Al Zarzour, R. (2020).** COVID-19 and therapy with essential oils having antiviral, anti-inflammatory, and immunomodulatory properties. *Inflammopharmacology*, 28, 1153-1161. <https://doi.org/10.1007/s10787-020-00744-0>.
- Asofiei, I., Calinescu, I., Trifan, A., and Gavrila, A. I. (2019).** A Semi-continuous process for polyphenols extraction from Sea Buckthorn Leaves. *Sci. Rep.* 9, 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48610-6>.
- Awad, A. M., Kumar, P., Ismail-Fitry, M. R., Jusoh, S., Ab Aziz, M. F., & Sazili, A. Q. (2021).** Green extraction of bioactive compounds from plant biomass and their application in meat as natural antioxidant. *Antioxidants*, 10(9), 1465. <https://doi.org/10.3390/antiox10091465>.

- Ayati, S., Eun, J. B., Atoub, N., & Mirzapour-Kouhdasht, A. (2022).** Functional yogurt fortified with fish collagen-derived bioactive peptides: Antioxidant capacity, ACE and DPP-IV inhibitory. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16208. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16208>.
- Ayoub, M., Saeed, S., Ahmed, A., & Ahmed, M. (2023).** Ethnobotanical survey and utilization of medicinal and food plants of Panjgur Balochistan, Pakistan. *Asian Journal of Ethnobiology*, 6(1), 26–35. <https://doi.org/10.13057/asianjethnobiol/y060104>
- Aziz, E. E., Al-Amier, H., & Craker, L. E. (2008).** Influence of salt stress on growth and essential oil production in peppermint, pennyroyal, and apple mint. *Journal of herbs, spices & medicinal plants*, 14(1-2), 77-87.
- Azizkhani, M. & Tooryan, F. (2016).** Antimicrobial activities of probiotic yogurts flavored with peppermint, basil, and zataria against *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Quality and Hazards Control*. 3 (3) : 79-86.
- Azizkhani, M., & Parsaeimehr, M. (2018).** Probiotics survival, antioxidant activity and sensory properties of yogurt flavored with herbal essential oils. *International Food Research Journal*, 25(3).921-927.
- Bachman, S. (2016).** State of the world's plants report. Royal Botanic Gardens, Kew, 7, 84. (ISBN 978-1-84246-628-5).
- Badal, R. M., Badal, D., Badal, P., Khare, A., Shrivastava, J., & Kumar, V. (2011).** Pharmacological action of *Mentha piperita* on lipid profile in fructose-fed rats. *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 10(4), 843.
- Badiaga, M. (2011).** Etude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia* Smith, une plante médicinale africaine récoltée au Mali (Doctoral dissertation, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II).
- Bahrami, G., Mostafaie, A., Kiani, A., & Chalabi, M. (2020).** Bacterial starter cultures induce suitable changes in milk fatty acid profiles at different fermentation conditions. *Journal of Dairy Research*, 87(4), 469-473. <https://doi.org/10.1017/s0022029920001053>.
- Bais, H. P., Walker, T. S., Schweizer, H. P., & Vivanco, J. M. (2002).** Root specific elicitation and antimicrobial activity of rosmarinic acid in hairy root cultures of *Ocimum basilicum*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(11), 983-995.
- Bakry, A. M., Chen, Y. Q., & Liang, L. (2019).** Developing a mint yogurt enriched with omega-3 oil: Physiochemical, microbiological, rheological, and sensorial characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14287. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14287>.
- Baliga, M. S., & Rao, S. (2010).** Radioprotective potential of mint: a brief review. *Journal of cancer research and therapeutics*, 6(3), 255-262.
- Bankole, A. O., Irondi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023).** Application of natural and modified additives in yogurt formulation: Types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1257439. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1257439>.
- Barakat, H., & Y. Hassan, M. F. (2017).** Chemical, nutritional, rheological, and organoleptical characterizations of stirred pumpkin-yoghurt. *Food and Nutrition Sciences*, 8(7), 746–760.

- Barberis, S., Quiroga, H. G., Barcia, C., Talia, J. M., & Debattista, N. (2018).** Natural food preservatives against microorganisms. *Food safety and preservation*, 621-658.
- Barkallah, M., Dammak, M., Louati, I., Hentati, F., Hadrich, B., Mechichi, T., ... & Abdelkafi, S. (2017).** Effect of *Spirulina platensis* fortification on physicochemical, textural, antioxidant and sensory properties of yogurt during fermentation and storage. *Lwt*, 84, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.071>.
- Barretto, F. J. D. F. P., Clemente, H. A., Santana, A. L. B. D., & Vasconcelo, M. A. D. S. (2020).** Stability of encapsulated and non-encapsulated anthocyanin in yogurt produced with natural dye obtained from *Solanum melongena* L. Bark. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42, e-137. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020137>.
- Basu Mallik, S., Mudgal, J., Nampoothiri, M., Hall, S., Dukie, S. A., Grant., Rao, C.M & Arora, D. (2016).** Caffeic acid attenuates lipopolysaccharide-induced sickness behaviour and neuroinflammation in mice. *Neuroscience letters*, 632, 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.08.044>.
- Beal C. & Corrieu G., 1991.** Influence of pH, temperature, and inoculum composition on mixed cultures of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*. *Biotechnol. Bioeng.*, vol.38, pp.90-98.
- Béal, C., & Helinck, S. (2019).** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. Fabrication des yaourts et des laits fermentés. *Techniques de l'Ingénieur*, 6315.
- Béal, C., & Sodini, I. (2003).** Fabrication des yaourts et des laits fermentés. *Techniques de l'ingénieur. Bioprocédés*, (F6315), 1-16.
- Beigi, M., Torki-Harchegani, M., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2018).** Quantity and chemical composition of essential oil of peppermint (*Mentha× piperita* L.) leaves under different drying methods. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 267-276. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1453839>.
- Bekhit, A. E. D. A., Cheng, V. J., McConnell, M., Zhao, J. H., Sedcole, R., & Harrison, R. (2011).** Antioxidant activities, sensory and anti-influenza activity of grape skin tea infusion. *Food Chemistry*, 129(3), 837-845.
- Bekut, M., Brkić, S., Kladar, N., Dragović, G., Gavarić, N., & Božin, B. (2018).** Potential of selected Lamiaceae plants in anti (retro) viral therapy. *Pharmacological research*, 133, 301-314.
- Bellassoued, K., Ben Hsouna, A., Athmouni, K., van Pelt, J., Makni Ayadi, F., Rebai, T., & Elfeki, A. (2018).** Protective effects of *Mentha piperita* L. leaf essential oil against CCl₄ induced hepatic oxidative damage and renal failure in rats. *Lipids in health and disease*, 17(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0645-9>.
- Benabdallah, A., (2017):** Etude écophysiologique, développement et importance des plantes médicinales du genre *Mentha* dans le Parc National d'El-Kala (Nord-Est Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie, 151 p.
- Benabdallah, A., Boumendjel, M., Aissi, O., Rahmoune, C., Boussaid, M., & Messaoud, C. (2018).** Chemical composition, antioxidant activity and acetylcholinesterase inhibitory of wild

Mentha species from north eastern Algeria. *South African Journal of Botany*, 116, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.03.002>.

Benhabyles-Bouttaba, N., Laoufi, R., Bouchenak, O., Yahiaoui, K., & Arab, K. (2018). Physico-chemical analysis and antioxidant capacity of essential oil from the leaves of Algerian *Mentha × piperita* L. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(5S),

Benmeziane, F., Raigar, R. K., Ayat, N. E. H., Aoufi, D., DjermouneArkoub, L., & Chala, A. (2021). Lentil (*Lens culinaris*) flour addition to yogurt: Impact on physicochemical, microbiological and sensory attributes during refrigeration storage and microstructure changes. *Lwt - Food Science and Technology*, 140, 110793. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110793>.

Benouchenne, D., Bellil, I., Akkal, S., & Khelifi, D. (2021). Investigation of phytochemical and evaluation of antioxidant and antibacterial activities from abies extract. *Sci. J. King Faisal Univ*, 22, 26-32.

Berdowska, I., Zieliński, B., Fecka, I., Kulbacka, J., Saczko, J., & Gamian, A. (2013). Cytotoxic impact of phenolics from Lamiaceae species on human breast cancer cells. *Food chemistry*, 141(2), 1313-1321.

Beshkova, D., Simova, E., Frengova, G., & Simov, Z. (1998). Production of flavour compounds by yogurt starter cultures. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 20, 180-186

Bianchi, A. E., Silva, A. S., Biazus, A. H., Richards, N. S., Pellegrini, L. G., Baldissera, M. D., Macedo, V. D., & Silveira, A. L. (2017). Adding palm oil to the diet of sheep alters fatty acids profile on yogurt: Benefits to consumers. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89(3 Suppl), 2471–2478. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170468>.

Bianchi-Salvadori, B., Camaschella, P., & Cislighi, S. (1995). Rapid enzymatic method for biotyping and control of lactic acid bacteria used in the production of yogurt and some cheeses. *International journal of food microbiology*, 27(2-3), 253-261.

Bié, J., Sepodes, B., Fernandes, P. C., & Ribeiro, M. H. (2023). Polyphenols in health and disease: gut microbiota, bioaccessibility, and bioavailability. *Compounds*, 3(1), 40-72. <https://doi.org/10.3390/ijms24043813>.

Bills, D. D., & Day, E. A. (1966). Dehydrogenase activity of lactic streptococci. *Journal of Dairy Science*, 49(12), 1473-1477.

Bingham, S. A., Day, N. E., Luben, R., Ferrari, P., Slimani, N., Norat, T., ... & Riboli, E. (2003). Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study. *The lancet*, 361(9368), 1496-1501.

Bin-Nun, A., Bromiker, R., Wilschanski, M., Kaplan, M., Rudensky, B., Caplan, M., & Hammerman, C. (2005). Oral probiotics prevent necrotizing enterocolitis in very low birth weight neonates. *The Journal of pediatrics*, 147(2), 192-196.

- Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012).** Oxidative stress and antioxidant defense. *World allergy organization journal*, 5, 9-19.
- Bishr, M. M., & Salama, O. M. (2018).** Inter and intra GC-MS differential analysis of the essential oils of three *Mentha* species growing in Egypt. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4(1), 53-56. <https://doi.org/10.1016/j.fjps.2017.08.003>.
- Bittner Fialová, S., Kurin, E., Trajčiková, E., Jánošová, L., Šušaníková, I., Tekel'ová, D., ... & Mučaji, P. (2020).** *Mentha* rhizomes as an alternative source of natural antioxidants. *Molecules*, 25(1), 200. <https://doi.org/10.3390/molecules25010200>.
- Bittner, S. F., Harris, C., Ordsmith, V., Nagy, M., Jonáš, F., & Mučaji, P. (2019).** Polar phenolic compounds in peppermint rhizomes and leaves. *Acta Facultatis Pharmaceuticae*, 66(1), 28-31. <https://doi.org/10.2478/afpuc-2019-0008>.
- Blake, K. D. (1993).** Dangers of common cold treatments in children. *The lancet*, 341(8845), 640. [https://doi.org/10.1016/01406736\(93\)90410-I](https://doi.org/10.1016/01406736(93)90410-I).
- Blanc, B. (1981).** Biochemical aspects of human milk—comparison with bovine milk. *Human Nutrition and Diet*, 36, 1-89.
- Bleiziffer, R., Mesaros, C., Suvar, S., Podea, P., Iordache, A., Yudin, F. D., & Culea, M. (2017).** Comparative characterization of basil, mint and sage extracts. *Studia UBB chemia*, 2, 373-385. <https://doi.org/10.24193/subbchem.2017.2.30>.
- Bohnert, T., Patel, A., Templeton, I., Chen, Y., Lu, C., Lai, G., ... & Yang, X. (2016).** Evaluation of a new molecular entity as a victim of metabolic drug-drug interactions—an industry perspective. *Drug Metabolism and Disposition*, 44(8), 1399-1423. <https://doi.org/10.1124/dmd.115.069096>.
- Bouarab Chibane, L., Degraeve, P., Ferhout, H., Bouajila, J., & Oulahal, N. (2019).** Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(4), 1457-1474. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9357>.
- Boudier J. F. (1990).** Produits frais. *In* laits et produits laitier : Vache - Brebis- Chèvre. pp. 35-66. ed. Luquet, F.M., Technique et Documentation, Lavoisier, Paris.
- Bouloumpasi, E., Skendi, A., Christaki, S., Biliaderis, C. C., & Irakli, M. (2024).** Optimizing conditions for the recovery of lignans from sesame cake using three green extraction methods: Microwave-, ultrasound-and accelerated-assisted solvent extraction. *Industrial Crops and Products*, 207, 117770. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117770>.
- Boumerdassi, H., Monnet, C., Desmazeaud, M., & Corrieu, G. (1997).** Isolation and properties of *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar diacetylactis CNRZ 483 mutants producing diacetyl and acetoin from glucose. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(6), 2293-2299.
- Bourlioux, P., Braesco, V., & Mater, D. D. (2011).** Yaourts et autres laits fermentés. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(6), 305-314.

- Bousetla, A., Zellagui, A., Derouiche, K., & Rhouati, S. (2015).** Chemical constituents of the roots of Algerian *Bunium incrassatum* and evaluation of its antimicrobial activity. *Arabian Journal of ChemiSty*, 8(3), 313-316.
- Bouyahya, A. (2016).** Alicaments: des aliments aux médicaments, quel apport pour la santé?. *Annales des Sciences de la Santé*, 1(4), 1-3. <https://revues.imist.ma/index.php/A2S/article/download/4510/3241>.
- Bouzouina, M., Amari, N. O., Berkani, A., Lotmani, B., Hanafi, M., & Lazizi, A. (2016).** Total phenolics contents, flavonoids contents, and fatty acids compositions in *Thymelaea hirsuta* L. aerial parts, grown in Western Algeria. *Advances in Environmental Biology*, 10(1), 16–23
- Bowen, I. H., & Cubbin, I. J. (1992).** *Mentha piperita* and *Mentha spicata*. *Adverse effects of herbal drugs*, 1, 171-176.
- Brahmi, F., Khodir, M., Mohamed, C., & Pierre, D. (2017).** Chemical composition and biological activities of *Mentha* species. *Aromatic and medicinal plants-Back to nature*, 10, 47-79. <https://doi.org/10.5772/672910>.
- Brahmi, F., Lounis, N., Mebarakou, S., Guendouze, N., Yalaoui-Guellal, D., Madani, K., Makhlof, L.B., & Duez, P. (2022).** Impact of growth sites on the phenolic contents and antioxidant activities of three algerian mentha species (*M. pulegium* L., *M. rotundifolia* (L.) Huds., and *M. spicata* L.). *Frontiers in Pharmacology*, 13, 886337. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.886337>.
- Brand, Y. M., Roa-Linares, V. C., Betancur-Galvis, L. A., Durán-García, D. C., & Stashenko, E. (2016).** Antiviral activity of Colombian Labiatae and Verbenaceae family essential oils and monoterpenes on Human Herpes viruses. *Journal of Essential Oil Research*, 28(2), 130-137.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Brennan, C. S., & Tudorica, C. M. (2008).** Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilisation of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *International journal of food science & technology*, 43(5), 824-833.
- Brown, L., Wolf, J. M., Prados-Rosales, R., & Casadevall, A. (2015).** Through the wall: extracellular vesicles in Gram-positive bacteria, mycobacteria and fungi. *Nature Reviews Microbiology*, 13(10), 620-630.
- Brown, T. J., Brainard, J., Song, F., Wang, X., Abdelhamid, A., & Hooper, L. (2019).** Omega-3, omega-6, and total dietary polyunsaturated fat for prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *bmj*, 366. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.l4697>.
- Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales, Editions Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 1120 p.

Bruneton, J. (2009). Menthe in : Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales, 4e éd., Tec & Doc, Paris, pp. 631-638.

Bustamante, M., Oomah, B. D., Oliveira, W. P., Burgos-Díaz, C., Rubilar, M., & Shene, C. (2020). Probiotics and prebiotics potential for the care of skin, female urogenital tract, and respiratory tract. *Folia microbiologica*, 65, 245-264. <https://doi.org/10.1007/s12223-019-00759-3>.

Caggianiello, G., Kleerebezem, M., & Spano, G. (2016). Exopolysaccharides production by acid lactic bacteria: From healthpromoting benefits to stress tolerance mechanisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, 3877–3886. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7471-2>.

Cais-Sokolinska, D., & Pikul, J. (2004). Proportion of the microflora of Lactobacillus and Streptococcus genera in yoghurts of different degrees of condensation. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 48(4).

Caldeirao, L., Sousa, J., Nunes, L. C., Godoy, H. T., Fernandes, J. O., & Cunha, S. C. (2021). Herbs and herbal infusions: Determination of natural contaminants (mycotoxins and trace elements) and evaluation of their exposure. *Food Research International*, 144, 110322. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7471-2>.

Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Carocho, M., Oliveira, M. B. P., & Ferreira, I. C. (2016). Fortification of yogurts with different antioxidant preservatives: A comparative study between natural and synthetic additives. *Food chemiSty*, 210, 262-268.

Caleja, C., Ribeiro, A., Filomena Barreiro, M., & CFR Ferreira, I. (2017). Phenolic compounds as nutraceuticals or functional food ingredients. *Current pharmaceutical design*, 23(19), 2787-2806. <https://doi.org/10.2174/1381612822666161227153906>.

Câmara, J. S., Albuquerque, B. R., Aguiar, J., Corrêa, R. C., Gonçalves, J. L., Granato, D., Pereira, J. A. M., Barros, L., & Ferreira, I. C. (2020). Food bioactive compounds and emerging techniques for their extraction: Polyphenols as a case study. *Foods*, 10(1), 37. <https://doi.org/10.3390/foods10010037>.

Camele, I., Grul'ová, D., & Elshafie, H. S. (2021). Chemical composition and antimicrobial properties of Mentha× piperita cv. 'Kristinka' essential oil. *Plants*, 10(8), 1567. <https://doi.org/10.3390/plants10081567>.

Carocho, M., Calhella, RC, Queiroz, MJR, Bento, A., Morales, P., Soković, M. et Ferreira, IC (2014). Infusions et décoctions de fleurs de Castanea sativa comme matrices antitumorales et antimicrobiennes efficaces. *Cultures et produits industriels*, 62, 42-46. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.016>.

Caruso, G., Godos, J., Privitera, A., Lanza, G., Castellano, S., Chillemi, A., Bruni, O., Ferri, R., & Grosso, G. (2022). Acides phénoliques et prévention du déclin cognitif : les polyphénols au rôle neuroprotecteur dans les troubles cognitifs et la maladie d'Alzheimer. *Nutrients*, 14 (4), 819. <https://doi.org/10.3390/nu14040819>.

Ćavar Zeljković, S., Šišková, J., Komzáková, K., De Diego, N., Kaffková, K., & Tarkowski, P. (2021). Phenolic compounds and biological activity of selected *Mentha* species. *Plants*, 10(3), 550. <https://doi.org/10.3390/plants10030550>.

Cavé, A. (1993). *Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants*. Paris: Lavoisier.

Celik, O. F., & Temiz, H. (2022). Lactobacilli isolates as potential aroma producer starter cultures: Effects on the chemical, physical, microbial, and sensory properties of yogurt. *Food Bioscience*, 48, 101802.

Cerning J., Buillanne C. & Landon M. (1990). Comparaison of exocellular polysaccharide production by thermophilic lactic acid bacteria. *Science des aliments*, 10, 443-451.

Cerning, J. (1990). Exocellular polysaccharides produced by lactic acid bacteria. *FEMS microbiology reviews*, 7(1-2), 113-130.

Cerning, J. (1995). Production of exopolysaccharides by lactic acid bacteria and dairy propionibacteria. *Le lait*, 75(4-5), 463-472.

Ceylan, R., Zengin, G., Mahomoodally, M.F., Sinan, K.I., Ak, G., Jugreet, S., Cakır, O., Ouelbani, R., Peksoy, M.Y., Yılmaz, M.A., 2021. Enzyme inhibition and antioxidant functionality of eleven *Inula* species based on chemical components and chemometric insights. *Biochemical Systematics and Ecology* 95, 104225.

Chakraborty, K., Chakravarti, A. R., & Bhattacharjee, S. (2022). Bioactive components of peppermint (*Mentha piperita* L.), their pharmacological and ameliorative potential and ethnomedicinal benefits: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 11 (1), 109-114. <https://doi.org/10.22271/phyto.2022.v11.i1b.14322>.

Chandan RC, Kilara A.(2013). *Manufacturing yogurt and fermented milks*, 2nd edn. Wiley, Chichester, pp 297–317

Chandan, R. C., & O'Rell, K. R. (2006). *Manufacture of various types of yogurt. Manufacturing yogurt and fermented milks*, 211-236. <https://doi.org/10.1002/9780470277812>.

Chandan, R. C., Gandhi, A., & Shah, N. P. (2017). Yogurt: Historical background, health benefits, and global trade. In *Yogurt in health and disease prevention* (pp. 3-29). Academic Press.

Chandra, M.V., Shamasundar, B.A. (2015). Texture Profile Analysis and Functional Properties of Gelatin from the Skin of Three Species of Fresh Water Fish, *International Journal of Food Properties*, 18:3, 572-584. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.845787>.*

Chatha, S. A. S., Anwar, F., & Manzoor, M. (2006). Evaluation of the antioxidant activity of rice bran extracts using different antioxidant assays. *Grasas y aceites*, 57(3), 328-335.

Chaves, A. C. S. D., M. Fernandez, A. L. S. Lerayer, I. Mierau, M. Kleerebezem, and J. Hugenholtz. 2002. Metabolic engineering of acetaldehyde production by *Streptococcus thermophilus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 68:5656–5662.

Cheftel J C., Cheftel H. (1977). *Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments*. Vol. 1. Lavoisier Tec et Doc. Paris.381 p.

- Cheng, H. (2010).** Volatile flavor compounds in yogurt: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(10), 938-950.
- Chirinos, R., Rogez, H., Campos, D., Pedreschi, R., & Larondelle, Y. (2007).** Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers. *Separation and Purification Technology*, 55(2), 217-225.
- Cho, W. Y., Kim, D. H., Lee, H. J., Yeon, S. J., & Lee, C. H. (2020a).** Quality characteristic and antioxidant activity of yogurt containing olive leaf hot water extract. *CyTA-Journal of Food*, 18(1), 43-50. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1640797>.
- Cho, Y., Kim, H., Beuchat, L. R., & Ryu, J. H. (2020b).** Synergistic activities of gaseous oregano and thyme thymol essential oils against *Listeria monocytogenes* on surfaces of a laboratory medium and radish sprouts. *Food Microbiology*, 86, 103357. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103357>.
- Choi, S. S., Lee, S. H., & Lee, K. A. (2022).** A comparative study of hesperetin, hesperidin and hesperidin glucoside: Antioxidant, anti-inflammatory, and antibacterial activities in vitro. *Antioxidants*, 11(8), 1618.
- Chrpova, D., Kouřimská, L., Gordon, M. H., Heřmanová, V., Roubíčková, I., & Panek, J. (2010).** Antioxidant activity of selected phenols and herbs used in diets for medical conditions. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(4), 317.
- Citta, A., Folda, A., Scalcon, V., Scutari, G., Bindoli, A., Bellamio, M., Feller, E., & Rigobello, M. P. (2017).** Oxidative changes in lipids, proteins, and antioxidants in yogurt during the shelf life. *Food science & nutrition*, 5(6), 1079-1087. <https://doi.org/10.1002/fsn3.493>.
- Clare, D. A., & Swaisgood, H. E. (2000).** Bioactive milk peptides: a prospectus. *Journal of dairy science*, 83(6), 1187-1195.
- Cliff, M. A., Fan, L., Sanford, K., Stanich, K., Doucette, C., & Raymond, N. (2013).** Descriptive analysis and early-stage consumer acceptance of yogurts fermented with carrot juice. *Journal of Dairy Science*, 96(7), 4160–4172. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6287>
- Codes Alimentarius, C. (2003).** Codex standard for fermented milks (CODEX STAN 243-2003). Adopted in, 1-11.
- Codex Alimentarius (2011).** Codex Alimentarius Milk and Milk Products. CODEX STAN 243–2003. *World Health Organization Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 183-199.
- Contor, L. (2001).** Functional Food Science in Europe. Nutrition, metabolism, and cardiovascular diseases: NMCD, 11(4 Suppl), 20-23.
- Cormick, G., & Belizán, J. M. (2019).** Calcium intake and health. *Nutrients*, 11(7), 1606. ; <https://doi.org/10.3390/nu11071606>.

- Corrieu, G. and Beal, C. (2016)**, “Yogurt: the product and its manufacture”, in Caballero, B., Finglas, P. and Toldra, F., (Eds), *The Encyclopedia of Food and Health*, Vol. 5, Academic Press, Oxford, pp. 617-624.
- Costa, P., Sarmiento, B., Gonçalves, S., & Romano, A. (2013)**. Protective effects of *Lavandula viridis* L'Hér extracts and rosmarinic acid against H₂O₂-induced oxidative damage in A172 human astrocyte cell line. *Industrial crops and products*, 50, 361-365.
- Courtin, P., & Rul, F. (2004)**. Interactions between microorganisms in a simple ecosystem: yogurt bacteria as a study model. *Le Lait*, 84(1-2), 125-134.
- Courtin, P., Monnet, V. and Rul, F. (2002)**. Cell-wall proteinases PrtS and PrtB have a different role in *Streptococcus thermophilus/Lactobacillus bulgaricus* mixed cultures in milk. *Microbiology* 148: 3413–3421.
- Critselis, E., Tsiampalis, T., Damigou, E., Georgousopoulou, E., Barkas, F., Chrysohoou, C., Skoumas, J., Pitsavos, C., Liberopoulos, E., Tsioufis, C., Sfikakis, P. P., & Panagiotakos, D. (2023)**. High fish intake rich in n-3 polyunsaturated fatty acids reduces cardiovascular disease incidence in healthy adults: The ATTICA cohort study (2002-2022). *Frontiers in Physiology*, 14, 1158140. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1158140>.
- Crozier, A., Del Rio, D., & Clifford, M. N. (2010)**. Bioavailability of dietary flavonoids and phenolic compounds. *Molecular aspects of medicine*, 31(6), 446-467.
- Cueva, O., & Aryana, K. J. (2008)**. Quality attributes of a heart healthy yogurt. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 537-544.
- Cushing, C. M., Petronek, M. S., Bodeker, K. L., Vollstedt, S., Brown, H. A., Opat, E., ... & Magnotta, V. A. (2021)**. Magnetic resonance imaging (MRI) of pharmacological ascorbate-induced iron redox state as a biomarker in subjects undergoing radio-chemotherapy. *Redox biology*, 38, 101804. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101804>.
- da Cruz Almeida, E. T., de Souza, G. T., de Sousa Guedes, J. P., Barbosa, I. M., de Sousa, C. P., Castellano, L. R. C., Magnani, M., & de Souza, E. L. (2019)**. *Mentha piperita* L. essential oil inactivates spoilage yeasts in fruit juices through the perturbation of different physiological functions in yeast cells. *Food microbiology*, 82, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.01.023>.
- Dabija, A., Codină, G. G., Ropciuc, S., Gâtlan, A. M., & Rusu, L. (2018)**. Assessment of the antioxidant activity and quality attributes of yogurt enhanced with wild herbs extracts. *Journal of Food Quality*, 2018(1), 5329386. <https://doi.org/10.1155/2018/5329386>.
- Dal Bello, B., Torri, L., Piochi, M., & Zeppa, G. (2015)**. Healthy yogurt fortified with n-3 fatty acids from vegetable sources. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8375-8385.
- Dan, T., Hu, H., Tian, J., He, B., Tai, J., & He, Y. (2023)**. Influence of Different Ratios of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* on Fermentation Characteristics of Yogurt. *Molecules*, 28(5), 2123. <https://doi.org/10.3390/molecules28052123>.

- Dargahi, N., Johnson, J., Donkor, O., Vasiljevic, T., & Apostolopoulos, V. (2019).** Immunomodulatory effects of probiotics: Can they be used to treat allergies and autoimmune diseases?. *Maturitas*, 119, 25-38. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2018.11.002>.
- Darwish, A. M., Soliman, T. N., Elhendy, H. A., & El-Kholy, W. M. (2021).** Nano-encapsulated iron and folic acid-fortified functional yogurt enhance anemia in albino rats. *Frontiers in Nutrition*, 8, 654624. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.654624>.
- Das, K., Tiwari, R. K. S., & Shrivastava, D. K. (2010).** Techniques for evaluation of medicinal plant products as antimicrobial agent: Current methods and future trends. *Journal of medicinal plants research*, 4(2), 104-111
- De Carvalho, M. W., Arriola, N. D. A., Pinto, S. S., Verruck, S., Fritzen-Freire, C. B., Prudêncio, E. S., & Amboni, R. D. D. M. C. (2019).** Stevia-fortified yoghurt: Stability, antioxidant activity and in vitro digestion behaviour. *International Journal of Dairy Technology*, 72(1), 57-64. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12559>.
- De Moreno, M. A. (2014).** The administration of probiotics and fermented products containing lactic acid bacteria exert beneficial effects against intestinal and non-intestinal cancers. <http://dx.doi.org/10.4172/2324-9323.S1-005>.
- de Moura, S. C., Schettini, G. N., Garcia, A. O., Gallina, D. A., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2019).** Stability of hibiscus extract encapsulated by ionic gelation incorporated in yogurt. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 1500-1515. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02308-9>.
- de Oliveira, F. P., Vieira, N. C., & Júnior, S. R. (2017).** As famílias do mangue e suas práticas holísticas: um estudo no nordeste paraense, Amazônia, Brasil. *Amazônica-Revista de Antropologia*, 9(1), 316-337. <https://doi.org/10.18542/amazonica.v9i1.5493>.
- de Sousa Barros, A., de Moraes, S. M., Ferreira, P. A. T., Vieira, Í. G. P., Craveiro, A. A., dos Santos Fontenelle, R. O., Menezes, J. E. S. A., Silvaa, F. W. F., & de Sousa, H. A. (2015).** Chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha* species. *Industrial Crops and Products*, 76, 557-564. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.004>.
- de Sousa Guedes, J. P., da Costa Medeiros, J. A., e Silva, R. S. D. S., de Sousa, J. M. B., da Conceicao, M. L., & de Souza, E. L. (2016).** The efficacy of *Mentha arvensis* L. and *M. piperita* L. essential oils in reducing pathogenic bacteria and maintaining quality characteristics in cashew, guava, mango, and pineapple juices. *International journal of food microbiology*, 238, 183-192. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.005>.
- Degnon, G. R., Adjou, E. S., Metome, G., & Dahouenon-Ahoussi, E. (2016).** Efficacité des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* et de *Mentha piperita* dans la stabilisation du lait frais de vache au Sud du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(4), 1894-1902. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i4.37>.
- Degorce-Dumas, R., Goursaud, J., & Leveau, J. Y. (1986).** Analyse de composés volatils du yaourt par chromatographie en phase gazeuse-espace de tête (headspace). *Industries alimentaires et agricoles*, 103(9), 805-808.

- Demarigny, Y., Legrand, E., Sanchez, J., Hallier, A., Laurent, N., Slimani, S., ... & Picque, D. (2021).** Utilisation of a portable electronic nose, NeOse Pro, to follow the microbial fermentation of a yoghurt. *Food and Nutrition Sciences*, 12(01), 90-105. <https://doi.org>
- Demirtas I, Ayhan B, Sahin A, Aksit H, Elmastas M, Telci I (2011)** Antioxidant activity and chemical composition of *Sideritis libanotica* Labill. ssp. *linearis* (Benth) Borm. (Lamiaceae). *NatProdRes* 25:1512–1523).
- Denis, F., E. Bingen, C. Martin, M.C. Ploy and R. Quentin, 2011.** Bacteriologie Medicale. 2nd Edn., Elsevier Masson, Paris, ISBN: 9782294725944, Pages: 640.
- Derrien, M., & Van Hylckama Vlieg, J. E. (2015).** Fate, activity, and impact of ingested bacteria within the human gut microbiota. *Trends in microbiology*, 23(6), 354-366.
- Desam, N. R., Al-Rajab, A. J., Sharma, M., Mary Moses, M., Reddy, G. R., & Albratty, M. (2017).** Chemical constituents, in vitro antibacterial and antifungal activity of *Mentha piperita* L. (Peppermint) essential oils. *Journal of King Saud University – Science*, 31, 528–533. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.07.013>.
- Di Cerbo, A., Palmieri, B., Aponte, M., Morales-Medina, J. C., & Iannitti, T. (2016).** Mechanisms and therapeutic effectiveness of lactobacilli. *Journal of Clinical Pathology*, 69(3), 187–203. <http://dx.doi.org/10.1136/jclinpath-2015-202976>.
- Dickinson, M. E., & Mann, A. B. (2006).** Nanomechanics and morphology of salivary pellicle. *Journal of materials research*, 21(8), 1996-2002.
- Dieng, S. I. M., Fall, A. D., Diatta-Badji, K., Sarr, A., Sene, M., Sene, M., Mabaye W, A., Diatta., & Bassene, E. (2017).** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits hydro-ethanoliques des feuilles et écorces de *Piliostigma thonningii* Schumach. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(2), 768-776.
- Dimitrova, P. D., Damyanova, T., & Paunova-Krasteva, T. (2023).** *Chromobacterium Violaceum*: A model for evaluating the anti-quorum sensing activities of plant substances. *Scientia Pharmaceutica*, 91(3), 33. <https://doi.org/10.3390/scipharm91030033>.
- Dimitrova, P. D., Damyanova, T., & Paunova-Krasteva, T. (2023).** *Chromobacterium Violaceum*: A model for evaluating the anti-quorum sensing activities of plant substances. *Scientia Pharmaceutica*, 91(3), 33. <https://doi.org/10.3390/scipharm91030033>.
- Djenane, D., Aïder, M., Yangüela, J., Idir, L., Gómez, D., & Roncalés, P. (2012).** Antioxidant and antibacterial effects of *Lavandula* and *Mentha* essential oils in minced beef inoculated with *E. coli* O157: H7 and *S. aureus* during storage at abuse refrigeration temperature. *Meat science*, 92(4), 667-674. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.019>.
- Djenidi, H., Khennouf, S., & Bouaziz, A. (2020).** Antioxidant activity and phenolic content of commonly consumed fruits and vegetables in Algeria. *Prog. Nutr*, 22(1), 224-235. <https://doi.org/10.23751/pn.v22i1.7701>.

- Dogan, C., Celik, S., & Dogan, N. (2022).** Changes of quality characteristics of functional fruit yogurts fortified with husk extracts of various nuts during cold storage. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 12(3), e5830-e5830. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.5830>.
- Dohou, N., Tahrouch, S., Hassani, LMI., Badoc, A., Gmira, N., Yamni, K. (2003).**Screening phytochimique d'une endémique ibéro-marocaine, *Thymelya lythroides.*, *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 142, 61-78.
- Dolzhenko, Y., Berteau, C. M., Occhipinti, A., Bossi, S., & Maffei, M. E. (2010).** UV-B modulates the interplay between terpenoids and flavonoids in peppermint (*Mentha× piperita* L.). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 100(2), 67-75. . <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.05.003>.
- Dönmez, Ö., Mogol, B. A., & Gökmen, V. (2017).** Syneresis and rheological behaviors of set yogurt containing green tea and green coffee powders. *Journal of dairy science*, 100(2), 901-907. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11262>.
- Donovan, J. L., Crespy, V., Manach, C., Morand, C., Besson, C., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2001).** Catechin Is Metabolized by Both the Small Intestine and Liver of Rats. *The Journal of Nutrition*, 131(6), 1753-1757.
- Dorman, H. D., & Deans, S. G. (2000).** Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of applied microbiology*, 88(2), 308-316.
- Dragoev, S. G., Kolev, N. D., Vlahova-Vangelova, D. B., & Balev, D. K. (2024).** Radio frequency food processing. Current status and perspectives—a review. *Food Science and Applied Biotechnology*, 7(1), 103-121. <https://doi.org/10.30721/fsab2024.v7.i1.304>.
- Driessen, F. M., Kingma, F., & Stadhouders, J. (1982).** Evidence that *Lactobacillus bulgaricus* in yogurt is stimulated by carbon dioxide produced by *Streptococcus thermophilus*.
- Drioiche, A., Baammi, S., Zibouh, K., Al Kamaly, O., Alnakhli, A. M., Remok, F., ... & Zair, T. (2024).** A Study of the Synergistic Effects of Essential Oils from *Origanum compactum* and *Origanum elongatum* with Commercial Antibiotics against Highly Prioritized Multidrug-Resistant Bacteria for the World Health Organization. *Metabolites*, 14(4), 210. <https://doi.org/10.3390/metabo14040210>.
- Duda-Chodak, A. (2012).** The inhibitory effect of polyphenols on human gut microbiota. *J Physiol Pharmacol*, 63(5), 497-503.
- Ebbensgaard, A., Mordhorst, H., Aarestrup, F. M., & Hansen, E. B. (2018).** The role of outer membrane proteins and lipopolysaccharides for the sensitivity of *Escherichia coli* to antimicrobial peptides. *Frontiers in microbiology*, 9, 372935. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02153>.
- Ebbesson, S. O., Voruganti, V. S., Higgins, P. B., Fabsitz, R. R., Ebbesson, L. O., Laston, S., Harris, W. S., MacCluer, J. W., Umans, . G., & Howard, B. V. (2015).** Fatty acids linked to cardiovascular mortality are associated with risk factors. *International journal of circumpolar health*, 74(1), 28055. <https://doi.org/10.3402/ijch.v74.28055>.

- Eftekhari, A., Khusro, A., Ahmadian, E., Dizaj, S. M., Hasanzadeh, A., & Cucchiarini, M. (2021).** Phytochemical and nutra-pharmaceutical attributes of *Mentha* spp.: A comprehensive review. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(5), 103106. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103106>.
- Elansary, H. O., Szopa, A., Kubica, P., Ekiert, H., Klimek-Szczykutowicz, M., El-Ansary, D. O., & Mahmoud, E. A. (2020).** Polyphenol profile and antimicrobial and cytotoxic activities of natural *Mentha* × *piperita* and *Mentha longifolia* populations in Northern Saudi Arabia. *Processes*, 8(4), 479. <https://doi.org/10.3390/pr8040479>.
- Elfahri, K. R., Vasiljevic, T., Yeager, T., & Donkor, O. N. (2016).** Anti-colon cancer and antioxidant activities of bovine skim milk fermented by selected *Lactobacillus helveticus* strains. *Journal of dairy science*, 99(1), 31-40. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10160>.
- Elia, M., & Cummings, J. H. (2007).** Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates. *European journal of clinical nutrition*, 61(1), S40-S74.
- El-Kholy, W. M., Aamer, R. A., & Ali, A. N. A. (2020).** Utilization of inulin extracted from chicory (*Cichorium intybus* L.) roots to improve the properties of low-fat synbiotic yoghurt. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2020.02.002>.
- Emmanouelidou, D. G., Raphaelides, S. N., & Antoniou, K. D. (2008).** Effects of heating temperature and fat content on the structure development of set yogurt. *Journal of Food Engineering*, 85(4), 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.021>.
- Espírito-Santo, A. P. D., Lagazzo, A., Sousa, A. L. O. P. D., Perego, P., Converti, A., & Oliveira, M. N. (2013).** Rheology, spontaneous whey separation, microstructure and sensorial characteristics of probiotic yoghurts enriched with passion fruit fiber. *Food Research International*, 50(1), 224-231.
- Estrada Andino, J. D. (2011).** Production and processing of a functional yogurt fortified with microencapsulated omega-3 and vitamin E.
- Eucast (2003).** Determination of minimum inhibitory concentrations (MICs) of antibacterial agents by broth dilution. *Clin. Microbiol. Infect.* 6(9):509-515.
- FAO (1970).** Report of the thirteenth session of the Joint FAO/WHO Committee of Government Experts on the Code of Principles concerning Milk and Milk Products, Rome, Italy, 15-20 Jun 1970.
- FAO (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Collection FAO : Alimentation et nutrition, n.28. Rome, Italie
- FAO (1998).** Carbohydrates in Human Nutrition. Report of a Joint FAO/ WHO Expert Consultation (FAO Food and Nutrition Paper 66) Food and Agriculture Organization: Rome, Italie
- Farag, M. A., Saleh, H. A., El Ahmady, S., & Elmassry, M. M. (2022).** Dissecting yogurt: The impact of milk types, probiotics, and selected additives on yogurt quality. *Food Reviews International*, 38(sup1), 634-650. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1877301>.

- Fardet, A., & Rock, E. (2018).** In vitro and in vivo antioxidant potential of milks, yoghurts, fermented milks and cheeses: a narrative review of evidence. *Nutrition research reviews*, 31(1), 52-70. <https://doi.org/10.1017/S0954422417000191>.
- Farkye N.Y et Imafidon G.I. (1995).** Thermal denaturation of indigenous milk enzymes. *In Heat-induced changes in milk*, 2nd Ed. pp. 331-345. ed. Fox, P.H., International Dairy Federation, Brussels.
- Farnad, N., Heidari, R., & Aslanipour, B. (2014).** Phenolic composition and comparison of antioxidant activity of alcoholic extracts of Peppermint (*Mentha piperita*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8(2), 113-121
- Farnworth, E. R. (2008).** The evidence to support health claims for probiotics. *The Journal of Nutrition*, 138(6), 1250S-1254S.
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., & Pintado, M. (2019).** Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1056. <https://doi.org/10.3390/molecules24061056>
- FDA (2002).** GRN No.49 Bifidobacterium lactis strain Bb12 and *Streptococcus thermophilus* strain Th4. GRAS Not Inventory.
- FDA (2012).** GRN No.378 Cultured [dairy sources, sugars, wheat, malt, and fruit-and vegetablebased sources] fermented by [*Streptococcus thermophilus*, *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus sakei*, *Lactobacillus bulgaricus* and *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* or mixtures of these strains]. GRAS Not Inventory.
- FDA. (1996a).** Yogurt. 21 CFR 131.200, Code of Federal Regulations; US Department of Health and Human Services: Washington, DC, USA,
- Fecka, I., & Turek, S. (2007).** Determination of water-soluble polyphenolic compounds in commercial herbal teas from Lamiaceae: Peppermint, Melissa and Sage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26), 10908–10917.
- Fecka, I., Bednarska, K., & Kowalczyk, A. (2023).** In vitro antiglycation and methylglyoxal trapping effect of peppermint leaf (*Mentha piperita* L.) and its polyphenols. *Molecules*, 28(6), 2865. <https://doi.org/10.3390/molecules28062865>.
- Fernandez, M. A., Panahi, S., Daniel, N., Tremblay, A., & Marette, A. (2017).** Yogurt and cardiometabolic diseases: a critical review of potential mechanisms. *Advances in Nutrition*, 8(6), 812-829. <https://doi.org/10.3945/an.116.013946>.
- Fernandez-Garcia, E., & McGregor, J. U. (1997).** Fortification of sweetened plain yogurt with insoluble dietary fiber. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 204, 433-437.
- Ferraz, C. R., Carvalho, T. T., Manchope, M. F., Artero, N. A., Rasquel-Oliveira, F. S., Fattori, V., Casagrande, R., & Verri Jr, W. A. (2020).** Therapeutic potential of flavonoids in pain and inflammation: mechanisms of action, pre-clinical and clinical data, and pharmaceutical development. *Molecules*, 25(3), 762. <https://doi.org/10.3390/molecules25030762>.

- Ferreira, S. M., & Santos, L. (2023).** Incorporation of phenolic extracts from different by-products in yoghurts to create fortified and sustainable foods. *Food Bioscience*, 51, 102293. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102293>.
- Ferrucci, L., Cherubini, A., Bandinelli, S., Bartali, B., Corsi, A., Lauretani, F., ... & Guralnik, J. M. (2006).** Relationship of plasma polyunsaturated fatty acids to circulating inflammatory markers. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 91(2), 439-446. <https://doi.org/10.1210/jc.2005-1303>.
- Fialova, S., Veizerova, L., Nosalova, V., Drabikova, K., Tekelova, D., Grancai, D., & Sotnikova, R. (2015).** Water extract of *Mentha* × *villosa*: Phenolic fingerprint and effect on ischemia-reperfusion injury. *Natural product communications*, 10(6), 1934578X1501000636. <https://doi.org/10.1177/1934578X1501000636>.
- Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. (2008).** Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance journal*, 23(4), 213-226.
- Figuerola-Pérez, M. G., Pérez-Ramírez, I. F., Enciso-Moreno, J. A., Gallegos-Corona, M. A., Salgado, L. M., & Reynoso-Camacho, R. (2018).** Diabetic nephropathy is ameliorated with peppermint (*Mentha piperita*) infusions prepared from salicylic acid-elicited plants. *Journal of Functional Foods*, 43, 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.029>.
- Fisberg, M., & Machado, R. (2015).** History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition reviews*, 73 Suppl 1, 4–7. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv020>.
- Fischer, B., Rauschkolb, J. C., Cansian, R. L., Fernandes, I. A., Junges, A., Valduga, E., & Zeni, J. (2020).** Development of pasteurized coffee-flavored dairy beverage added with mint extract (*Mentha* × *piperita*). *Acta Scientiarum. Technology*, 42. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v42i1.48474>.
- Fischer, N., & Widder, S. (1997).** How proteins influence food flavor: The chemistry of flavor interactions. *Food technology (Chicago)*, 51(1), 68-70.
- Fleming, J. A., & Kris-Etherton, P. M. (2014).** The evidence for α -linolenic acid and cardiovascular disease benefits: Comparisons with eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid. *Advances in Nutrition*, 5(6), 863S-876S. <https://doi.org/10.3945/an.114.005850>.
- Folch, J., Lees, M., Stanley, G.H.S. 1957.** A simple method for the isolation and purification of lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226: 497-509.
- Folim, G. H. (2015).** Purification columns and methods (Patent No. US 2015/0258469 A1). Patent Application Publication, <https://eureka.patsnap.com/pdfnew/?patentId=1fc03d46-86b4-498f-b5e9-e3a1c16b6f72>.
- Folin, O., & Ciocalteu, V. (1927).** On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *J. biol. Chem.*, 73(2), 627-650.

- Folin, O., & Denis, W. (1912).** On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *Journal of biological chemistry*, 12(2), 239-243. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)88697-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)88697-5).
- Fox PF (1989).** The milk protein system. *In: Developments in Dairy GhemiSty - 4. Functional Milk Proteins* (Fox PF, ed) Elsevier Appl Sei, London, 1-53.
- Francoise Rul. (2017).** Yogurt: microbiology, organoleptic properties and probiotic potential. *Fermented Foods, Part II: Technological Interventions*, CRC Press, 525 p., Food Biology Series, 9781138637849. hal-01579303.
- Franzen, K. L., & Kinsella, J. E. (1974).** Parameters affecting the binding of volatile flavor compounds in model food systems. I. Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22(4), 675-678.
- Frazier, R. A., Deaville, E. R., Green, R. J., Stringano, E., Willoughby, I., Plant, J., & Mueller-Harvey, I. (2010).** Interactions of tea tannins and condensed tannins with proteins. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 51(2), 490-495.
- Frengova, G.I., Simova, E.D., Beshkova, D.M. and Simov, Z.I. (2000).** Production and monomer composition of exopolysaccharides by yogurt starter cultures. *Canadian Journal of Microbiology* 46: 1123–1127.
- Gadaka, M., Muazu, A., & Muhammad, I. (2021).** Phytochemicals and Elemental Analysis Of Methanol Leave Extract Of Peppermint Tea (*Mentha Piperita L.*). *Food Science and Quality Management*, 108: 50-53. <https://doi.org/10.7176/FSQM/108-07>.
- Gahruie, H. H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., & Hanifpour, M. A. (2015).** Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>.
- Galano, A., Mazzone, G., Alvarez-Diduk, R., Marino, T., Alvarez-Idaboy, J. R., & Russo, N. (2016).** Food antioxidants: chemical insights at the molecular level. *Annual review of food science and technology*, 7, 335-352. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033206>.
- Gao, B., Lu, Y., Qin, F., Chen, P., Shi, H., Charles, D., & Yu, L. (2012).** Differentiating organic from conventional peppermints using chromatographic and flow injection mass spectrometric (FIMS) fingerprints. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(48), 11987-11994.
- García-Pérez, F. J., Lario, Y., Fernández-López, J., Sayas, E., PérezAlvarez, J. A., & Sendra, E. (2005).** Effect of orange fiber addition on yogurt color during fermentation and cold storage. *Color Research & Application*, 30(6), 457–463. <https://doi.org/10.1002/col.20158>.
- Gasparri, C., Perna, S., Spadaccini, D., Alalwan, T., Girometta, C., Infantino, V., & Rondanelli, M. (2019).** Is vitamin D-fortified yogurt a value-added strategy for improving human health? A systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Journal of dairy science*, 102(10), 8587-8603. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16046>.

- Gaurav, N. (2016).** An Experimental Text Book on Phytochemical Analysis and Antimicrobial Activity of Mentha Piperita. Onlinegatha.
- Ge, Y., Yu, X., Zhao, X., Liu, C., Li, T., Mu, S., ... & Zhang, B. (2024).** Fermentation characteristics and postacidification of yogurt by Streptococcus thermophilus CICC 6038 and Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus CICC 6047 at optimal inoculum ratio. *Journal of Dairy Science*, 107(1), 123-140. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23817>.
- Generalić Mekinić, I., Skroza, D., Ljubenković, I., Šimat, V., Smole Možina, S., & Katalinić, V. (2014).** In vitro antioxidant and antibacterial activity of Lamiaceae phenolic extracts: A correlation study. *Food technology and biotechnology*, 52(1), 119-127.
- Geng, T., Qi, L., & Huang, T. (2018).** Effects of dairy products consumption on body weight and body composition among adults: an updated meta-analysis of 37 randomized control trials. *Molecular nutrition & food research*, 62(1), 1700410. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700410>.
- Genot, C. (1996).** Some factors influencing TBA test. Annual report of the Vth PCRD EU project: Dietary treatment and oxidative stability of muscle and meat products: Nutritive value, sensory quality and safety (diet-ox), AIR III-CT- 92- 1577. *Volucella*, 52, 302–309.
- Georgala, A. I. K., Tsakalidou, E., Kandarakis, I., & Kalantzopoulos, G. (1995).** Flavour production in ewe's milk and ewe's milk yoghurt, by single strains and combinations of Streptococcus thermophilus and Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus, isolated from traditional Greek yoghurt. *Le Lait*, 75(3), 271-283.
- Gezginc, Y., Topcal, F., Comertpay, S., & Akyol, I. (2015).** Quantitative analysis of the lactic acid and acetaldehyde produced by Streptococcus thermophilus and Lactobacillus bulgaricus strains isolated from traditional Turkish yogurts using HPLC. *Journal of dairy science*, 98(3), 1426-1434.
- Ghadge, P. N., Prasad, K., & Kadam, P. S. (2008).** Effect of fortification on the physico-chemical and sensory properties of buffalo milk yoghurt. *Electronic journal of environmental, agricultural and food chemistry*, 7(5), 2890-2899.
- Gharib, F. A., & da Silva, J. T. (2013).** Composition, total phenolic content and antioxidant activity of the essential oil of four Lamiaceae herbs. *Medicinal and aromatic plant science and biotechnology*, 7(1), 19-27.
- Ghasemi-Pirbaluti, M., Motaghi, E., & Bozorgi, H. (2017).** The effect of menthol on acute experimental colitis in rats. *European journal of pharmacology*, 805, 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2017.03.003>.
- Ghimire, B.K.; Seo .J.W; Kim.S.H ; Ghimire, B; Lee. J.G; Yu .C.Y ; Chung. I.M (2021).** Influence of Harvesting Time on Phenolic and Mineral Profiles and Their Association with the Antioxidant and Cytotoxic Effects of Atractylodes japonica Koidz. *Agronomy*, 11, 1327. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071327>.
- Gholamipourfard, K., Salehi, M., & Banchio, E. (2021).** Mentha piperita phytochemicals in agriculture, food industry and medicine: Features and applications. *South African Journal of Botany*, 141, 183-195. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.05.014>.

- Ghorbani, A., Sadeghnia, H. R., Afshari, A. R., & Hosseini, A. (2019).** Rosmarinic acid protects adipose tissue-derived mesenchymal stem cells in nutrient-deficient conditions. *Preventive nutrition and food science*, 24(4), 449. <https://doi.org/10.3746/pnf.2019.24.4.449>.
- Ghorbanzade, T., Jafari, S. M., Akhavan, S., & Hadavi, R. (2017).** Nano-encapsulation of fish oil in nano-liposomes and its application in fortification of yogurt. *Food chemistry*, 216, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.022>.
- Gil, M., & Wianowska, D. (2017).** Chlorogenic acids—their properties, occurrence and analysis. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA—Chemia*, 72(1). <https://doi.org/10.17951/aa.2017.72.1.61>.
- Gilan, I. (2023).** Effect of Khalvash (*Mentha piperita*) Extract on the Physicochemical, Sensory and Microbial Characteristics of Doogh During Shelf Life. <https://doi.org/10.17311/tas.2023.112.119>.
- Gilbert, A., & Turgeon, S. L. (2021).** Studying stirred yogurt microstructure and its correlation to physical properties: A review. *Food Hydrocolloids*, 121, 106970. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106970>.
- Godghate, A., Sawant, R., & Sutar, A. (2012).** Phytochemical analysis of ethanolic extract of roots of *Carrisa carandus* Linn. *Rasayan J Chem*, 5(4), 456-9.
- Gómez-Gallego, C., Gueimonde, M., & Salminen, S. (2018).** The role of yogurt in food-based dietary guidelines. *Nutrition reviews*, 76(Supplement_1), 29-39. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy059>.
- Gómez-Ruiz, J. Á., López-Expósito, I., Pihlanto, A., Ramos, M., & Recio, I. (2008).** Antioxidant activity of ovine casein hydrolysates: identification of active peptides by HPLC–MS/MS. *European Food Research and Technology*, 227, 1061-1067.
- Gorissen, L., Weckx, S., Vlaeminck, B., Raes, K., De Vuyst, L., De Smet, S., & Leroy, F. (2011).** Linoleate isomerase activity occurs in lactic acid bacteria strains and is affected by pH and temperature. *Journal of Applied Microbiology*, 111(3), 593-606. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05087.x>.
- Gouda, A. S., Abdelruhman, F. G., Alenezi, H. S., & Mégarbane, B. (2021).** Theoretical benefits of yogurt-derived bioactive peptides and probiotics in COVID-19 patients—A narrative review and hypotheses. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(10), 5897-5905. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.046>.
- Granato, D., Branco, G. F., Cruz, A. G., Faria, J. D. A. F., & Shah, N. P. (2010).** Probiotic dairy products as functional foods. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(5), 455-470. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00120.x>.
- Granato, D., Santos, J. S., Salem, R. D., Mortazavian, A. M., Rocha, R. S., & Cruz, A. G. (2018).** Effects of herbal extracts on quality traits of yogurts, cheeses, fermented milks, and ice creams: a technological perspective. *Current Opinion in Food Science*, 19, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.11.013>.

- Guerra, I. C. D., de Oliveira, P. D. L., de Souza Pontes, A. L., Lúcio, A. S. S. C., Tavares, J. F., Barbosa-Filho, J. M., & de Souza, E. L. (2015).** Coatings comprising chitosan and *Mentha piperita* L. or *Mentha villosa* Huds essential oils to prevent common postharvest mold infections and maintain the quality of cherry tomato fruit. *International journal of food microbiology*, 214, 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.08.009>.
- Guglielmotti, D. M., Marcó, M. B., Golowczyc, M., Reinheimer, J. A., & Quiberoni, A. D. L. (2007).** Probiotic potential of *Lactobacillus delbrueckii* strains and their phage resistant mutants. *International Dairy Journal*, 17(8), 916-925.
- Guimarães, R., Barros, L., Dueñas, M., Calheta, R. C., Carvalho, A. M., Santos-Buelga, C., ... & Ferreira, I. C. (2013).** Nutrients, phytochemicals and bioactivity of wild Roman chamomile: A comparison between the herb and its preparations. *Food Chemistry*, 136(2), 718-725. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.025>.
- Guimont, C., Clary, D., & Bracquart, P. (1994).** Analysis of whole-cell proteins of *Streptococcus thermophilus* by 2 electrophoretic methods. *Le Lait*, 74(1), 13-21.
- Gulcin, İ. (2020).** Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of toxicology*, 94(3), 651-715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>.
- Güneş, M., Dölek, Ü., Elmastaş, M., & Karagöz, F. (2017).** Effects of harvest times on the fatty acids composition of rose hip (*Rosa* sp.) seeds. *Turkish journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 5(4), 321–325. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i4.321-325.1064>.
- Guo, Y. J., Luo, T., Wu, F., Mei, Y. W., Peng, J., Liu, H., Li, H.-R.; Zhang, S.-L.; Dong, J.-H.; Fang, Y.; et al. ... & Zhao, L. (2015).** Involvement of TLR2 and TLR9 in the anti-inflammatory effects of chlorogenic acid in HSV-1-infected microglia. *Life sciences*, 127, 12-18. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.01.036>.
- Gyawali, R., Feng, X., Chen, Y. P., Lorenzo, J. M., & Ibrahim, S. A. (2022).** A review of factors influencing the quality and sensory evaluation techniques applied to Greek yogurt. *Journal of Dairy Research*, 89(2), 213-219. <https://doi.org/10.1017/s0022029922000346>.
- Hadjimbei, E., Botsaris, G., & Chrysostomou, S. (2022).** Beneficial effects of yoghurts and probiotic fermented milks and their functional food potential. *Foods*. 2022; 11: 2691. <https://doi.org/10.3390/foods11172691>.
- Hadjmohammadi, M., Karimiyan, H., & Sharifi, V. (2013).** Hollow fibre-based liquid phase microextraction combined with high-performance liquid chromatography for the analysis of flavonoids in *Echinophora platyloba* DC. and *Mentha piperita*. *Food chemistry*, 141(2), 731-735.
- Hagerman, A. E., Rice, M. E., & Ritchard, N. T. (1998).** Mechanisms of protein precipitation for two tannins, pentagalloyl glucose and epicatechin₁₆ (4→ 8) catechin (procyanidin). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(7), 2590-2595.
- Hajimehdipoor, H., Shahrestani, R., & Shekarchi, M. (2014).** Investigating the synergistic antioxidant effects of some flavonoid and phenolic compounds. *Research Journal of Pharmacognosy*, 1(3), 35-40.

- Halliwell, B. and J.M.C. Gutteridge, 1999. Free radicals in biology and medicine. Oxford University Press.
- Han, X., Yang, Z., Jing, X., Yu, P., Zhang, Y., Yi, H., & Zhang, L. (2016). Improvement of the texture of yogurt by use of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria. *BioMed Research International*, 2016, 7945675. <https://doi.org/10.1155/2016/7945675>.
- Hanalp, H. C., Dogan, A., Saygi, T. K., Donmez, F., & Battal, A. (2022). Exploring of phytochemical constituents of *Achillea arabica* Kotschy. ethanolic flower extract by LC-MS/MS and its possible antioxidant and antidiabetic effects in diabetic rats. <https://doi.org/10.1515/znc-2022-0082>.
- Hanalp, H. C., Dogan, A., Saygi, T. K., Donmez, F., & Battal, A. (2023). Exploring phytochemical constituents of *Achillea arabica* Kotschy. ethanolic flower extract by LC-MS/MS and its possible antioxidant and antidiabetic effects in diabetic rats. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 78(5-6), 189-199. <https://doi.org/10.1515/znc-2022-0082>.
- Hansen, A. P., & Heinis, J. J. (1992). Benzaldehyde, citral, and d-limonene flavor perception in the presence of casein and whey proteins. *Journal of dairy science*, 75(5), 1211-1215.
- Hanuš, O., Samková, E., Křížová, L., Hasoňová, L., & Kala, R. (2018). Role of fatty acids in milk fat and the influence of selected factors on their variability—a review. *Molecules*, 23(7), 1636. <https://doi.org/10.3390/molecules23071636>.
- Haraguchi, H., Tanimoto, K., Tamura, Y., Mizutani, K., & Kinoshita, T. (1998). Mode of antibacterial action of retrochalcones from *Glycyrrhiza inflata*. *Phytochemistry*, 48(1), 125-129. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)01105-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)01105-9).
- Hariadi, H., Sagita, D., Rahmawati, L., Triyono, A., Hidayat, Mayasti, N. K. I., Kurniawan, K., Purwandoko, P. B., Anggara, C. E. W., & Andriansyah, R. C. (2023). Study of addition sweet potato extract on sensory test and antioxidant activity in yoghurt. *Food Science and Technology*, 43, e88422. <http://dx.doi.org/10.1590/fst.88422>.
- Haroune, M. K. (2022). Effets inhibiteurs des extraits de *Thymus vulgaris* sur *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus*, impact sur la qualité et la stabilité d'un lait fermenté étuvé. Thèse de doctorat 3ème cycle, 137p.
- Harper, S. J., Barnes, D. L., Bodyfelt, F. W., & McDaniel, M. R. (1991). Sensory ratings of commercial plain yogurts by consumer and descriptive panels. *Journal of dairy science*, 74(9), 2927-2935. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78476-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78476-2).
- Hashim, I. B., Khalil, A. H., & Afifi, H. S. (2009). Quality characteristics and consumer acceptance of yogurt fortified with date fiber. *Journal of dairy science*, 92(11), 5403-5407. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2234>.
- Hasneen, D. F., Zaki, N. L., Abbas, M. S., Soliman, A. S., Ashoush, I. S., & Fayed, A. E. (2020). Comparative evaluation of some herbs and their suitability for skimmed milk yoghurt and cast Kariesh cheese fortification as functional foods. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2020.05.001>.

- Hassan, F., Tang, Z., Ebeid, H. M., Li, M., Peng, K., Liang, X., & Yang, C. (2021).** Consequences of herbal mixture supplementation on milk performance, ruminal fermentation, and bacterial diversity in water buffaloes. *PeerJ*, 9, e11241. <https://doi.org/10.7717/peerj.11241>.
- Hawthorn, M., Ferrante, J., Luchowski, E., Rutledge, A., Wei, X. Y., & Triggle, D. J. (1988).** The actions of peppermint oil and menthol on calcium channel dependent processes in intestinal, neuronal and cardiac preparations. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 2(2), 101-118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.1988.tb00677.x>.
- Hedren, E., Diaz, V., & Svanberg, U. (2002).** Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an in vitro digestion method. *European journal of clinical nutrition*, 56(5), 425-430.
- Hernández-Ledesma, B., García-Nebot, M. J., Fernández-Tomé, S., Amigo, L., & Recio, I. (2014).** Dairy protein hydrolysates: Peptides for health benefits. *International Dairy Journal*, 38(2), 82-100. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.11.004>.
- Herrmann Jr, E. C., & Kucera, L. S. (1967).** Antiviral Substances in Plants of the Mint Family (Labiatae). III. Peppermint (*Mentha piperita*) and other Mint Plants. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 124(3), 874-878.
- Hervert-Hernández, D., Pintado, C., Rotger, R., & Goñi, I. (2009).** Stimulatory role of grape pomace polyphenols on *Lactobacillus acidophilus* growth. *International journal of food microbiology*, 136(1), 119-122. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.09.016>.
- Hikmawanti, N. P. E., Fatmawati, S., & Asri, A. W. (2021).** The Effect of Ethanol Concentrations as The Extraction Solvent on Antioxidant Activity of Katuk (*Sauropus androgynus* (L.) Merr.) Leaves Extracts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 755(1), 012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/755/1/012060>.
- Hols, P., Hancy, F., Fontaine, L., Grossiord, B., Prozzi, D., Leblond-Bourget, N., Decaris, B., Bolotin, A., Delorme, C., Ehrlich, S. D., Guédon, E., Monnet, V., Renault, P., & Kleerebezem, M. (2005).** New insights in the molecular biology and physiology of *Streptococcus thermophilus* revealed by comparative genomics. *FEMS microbiology reviews*, 29(3), 435-463. <https://doi.org/10.1016/j.fmrre.2005.04.008>.
- Horne, D. S. (1998).** Casein interactions: casting light on the black boxes, the structure in dairy products. *International Dairy Journal*, 8(3), 171-177. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(98\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(98)00040-5).
- Hossain, M. A., & Momu, J. M. (2022).** Yogurt as Probiotic: Comparative Effect on Growth Performance of Broiler Japanese Quail (*Coturnix Japonica*). *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(6), 987-991. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i6.987-991.4678>.
- Hudz, N., Kobylinska, L., Pokajewicz, K., Horčinová Sedláčková, V., Fedin, R., Voloshyn, M., Brindza, J., Wiczorek, P. P., & Lipok, J. (2023).** *Mentha piperita*: essential oil and extracts, their biological activities, and perspectives on the development of new medicinal and cosmetic products. *Molecules*, 28(21), 7444.

- Hunger, W. (1985).** Sauermilchprodukte hergestellt mit “mild säuernden Kulturen”. Dtsch. Mol. Ztg, 106, 826-833..
- Hussain, A. I., Anwar, F., Nigam, P. S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2010).** Seasonal variation in content, chemical composition and antimicrobial and cytotoxic activities of essential oils from four *Mentha* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(11), 1827-1836. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4021>.
- Hussein, M., Hu, X., Paulin, O. K., Crawford, S., Zhou, Q. T., Baker, M., ... & Velkov, T. (2020).** Polymyxin B combinations with FDA-approved non-antibiotic phenothiazine drugs targeting multi-drug resistance of Gram-negative pathogens. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 2247-2258. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.08.008>.
- Huynh, T. T. H., Wongmaneepratip, W., & Vangnai, K. (2024).** Relationship between Flavonoid Chemical Structures and Their Antioxidant Capacity in Preventing Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Formation in Heated Meat Model System. *Foods*, 13(7), 1002. <https://doi.org/10.3390/foods13071002>.
- Ibrahim, N., & Kebede, A. (2020).** In vitro antibacterial activities of methanol and aqueous leave extracts of selected medicinal plants against human pathogenic bacteria. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(9), 2261-2268. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.06.047>.
- IDF (2003).** Yoghurt: enumeration of characteristic microorganisms colony count technique at 37°C In ISO 7889 IDF 117. International Dairy Federation. Brussels.
- Ilic, D. B., & Ashoor, S. H. (1988).** Stability of vitamins A and C in fortified yogurt. *Journal of dairy science*, 71(6), 1492-1498.
- Imhof R., Glättli H. & Bosset J.O. (1994).** Volatile organic aroma compounds produced by thermophilic and mesophilic mixed strain dairy starter cultures. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 27, 442-449.
- Inarejos-Garcia, A. M., Heil, J., Martorell, P., Álvarez, B., Llopis, S., Helbig, I., ... & Morlock, G. E. (2023).** Effect-directed, chemical and taxonomic profiling of peppermint proprietary varieties and corresponding leaf extracts. *Antioxidants*, 12(2), 476. <https://doi.org/10.3390/antiox12020476>.
- Innosa, D., Ianni, A., Palazzo, F., Martino, F., Bennato, F., Grotta, L., & Martino, G. (2019).** High temperature and heating effect on the oxidative stability of dietary cholesterol in different real food systems arising from eggs. *European Food Research and Technology*, 245, 1533-1538. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03266-4>.
- Inoue, T., Sugimoto, Y., Masuda, H., & Kamei, C. (2001).** Effects of peppermint (*Mentha piperita* L.) extracts on experimental allergic rhinitis in rats. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 24(1), 92-95. 10.1248/bpb.24.92. <https://doi.org/10.1248/bpb.24.92>.
- Iqbal, A., Qureshi, N. A., Alhewairini, S. S., Shaheen, N., Hamid, A., & Qureshi, M. Z. (2022).** Biocidal action, characterization, and molecular docking of *Mentha piperita* (Lamiaceae) leaves extract against *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) larvae. *Plos one*, 17(7), e0270219. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270219>.

- Irkin, R., & Eren, U. V. (2008).** A research about viable *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* numbers in the market yoghurts. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 3(1), 25-28.
- İşcan, G., Kirimer, N., Kürkcüoğlu, M., Başer, H. C., & Demirci, F. (2002).** Antimicrobial screening of *Mentha piperita* essential oils. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(14), 3943-3946
- Issar, K., Sharma, P. C., & Gupta, A. (2017).** Utilization of apple pomace in the preparation of fiber-enriched acidophilus yoghurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13098. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13098>.
- Ivanova, D., Gerova, D., Chervenkov, T., & Yankova, T. (2005).** Polyphenols and antioxidant capacity of Bulgarian medicinal plants. *Journal of ethnopharmacology*, 96(1-2), 145-150.
- Iwaniuk, P., & Lozowicka, B. (2022).** Biochemical compounds and stress markers in lettuce upon exposure to pathogenic *Botrytis cinerea* and fungicides inhibiting oxidative phosphorylation. *Planta*, 255(3), 61. <https://doi.org/10.1007/s00425-022-03838-x>.
- Jacobsen, C., Hartvigsen, K., Lund, P., Thomsen, M. K., Skibsted, L. H., Hølmer, G., Adler-Nissen, J., & Meyer, A. S. (2001).** Oxidation in fish oil-enriched mayonnaise: 4. Effect of tocopherol concentration on oxidative deterioration. *European Food Research and Technology*, 212(3), 308–318. <https://doi.org/10.1007/s002170000251>.
- Jaimes-Gualdrón, T. R., Alzate Ceballos, J. A., & Rojano, B. A. (2019).** Oxidative stability of a dairy product like yogurt, with anthocyanin extracts of corozo (*Bactris guineensis*) and grape (*Vitis vinifera*). *Journal of Berry Research*, 9(2), 141-153. <https://doi.org/10.3233/JBR-180327>.
- Jankowska, A., Rejs, A., Proszek, A., & Wisniewska, K. (2008).** The effect of pressurization on selected properties of yoghurts. *Pol J Nat Sci*, 23(2), 482-95.
- Jaster, H., Arend, G. D., Rezzadori, K., Chaves, V. C., Reginatto, F. H., & Petrus, J. C. C. (2018).** Enhancement of antioxidant activity and physicochemical properties of yogurt enriched with concentrated strawberry pulp obtained by block freeze concentration. *Food Research International*, 104, 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.006>.
- Jayalalitha, V., Elango, A., & Pugazhenti, T. R. (2022).** Iron Fortification in Yoghurt: Methods and Processes, as well as their Influence on Physico-chemical and Sensory Qualities. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 15(1), 135-140. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.01.2022.17>.
- Jeantet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2008).** *Sciences des Aliments 1-Stabilisation biologique et physico-chimique*.
- Johari, S., Hosseini Ghaboos, S. H., & Shahi, T. (2022).** Investigation on the physicochemical properties of fortified yogurt containing pumpkin powder. *Journal of Food Research*, 32(1), 31-44. <https://doi.org/10.22034/FR.2021.42067.1765>.
- Joint FAO WHO (2003).** *Codex alimentarius : Standard for fermented milks .CXS 243-2003*. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

- Joint FAO/WHO. (2003).** Joint FAO/WHO Food Standards Programme & World Health Organization.. *Codex Alimentarius: Food hygiene, basic texts*. Food & Agriculture Org..
- Johnston, C. I., & Franz, V. (1992).** Renin—angiotensin system: a dual tissue and hormonal system for cardiovascular control. *Journal of Hypertension, 10*, 13e26
- Journal officiel (2021).**Journal officiel de la république algérienne, 24/01/2021, n°06. arrete interministerielle du 24 janvier 2021 portant sur les laits fermentés. Art03, p19. <https://avocatalgerien.com/wp-content/uploads/2021/02/F2021006.pdf>.
- Jung, J., Paik, H.-D., Yoon, H. J., Jang, H. J., Jeewanthi, R. K. C., Jee, H.-S., Li X., Lee, N.-K., Lee, S.-K. (2016).** Physicochemical Characteristics and Antioxidant Capacity in Yogurt Fortified with Red Ginseng Extract. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 36*(3), 412–420. <http://dx.doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.3.412>.
- Kabir, M. R., Hasan, M. M., Islam, M. R., Haque, A. R., & Hasan, S. K. (2021).** Formulation of yogurt with banana peel extracts to enhance storability and bioactive properties. *Journal of Food Processing and Preservation, 45*(3), e15191. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15191>.
- Kachur, K., & Suntres, Z. (2020).** The antibacterial properties of phenolic isomers, carvacrol and thymol. *Critical reviews in food science and nutrition, 60*(18), 3042-3053. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1675585>.
- Kailasapathy, K., Harmstorf, I., & Phillips, M. (2008).** Survival of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* in stirred fruit yogurts. *LWT-Food Science and Technology, 41*(7), 1317-1322. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.08.009>.
- Kallo, M. S., Adamou, R., Sawadogo, J., Mahamane, A. A., Maarouhi, I. M., & Ikhiri, K. (2018).** Enquête ethnobotanique et criblage phytochimique de quelques plantes tinctoriales du Niger en vue d'une valorisation en énergie solaire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences, 12*(2), 867-883. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.20>.
- Kaluźna-Czaplińska, J., Gałtarek, P., Chirumbolo, S., Chartrand, M. S., & Bjørklund, G. (2019).** How important is tryptophan in human health?. *Critical reviews in food science and nutrition, 59*(1), 72-88. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1357534>.
- Kamei, C., Inoue, T., Sugimoto, Y., & Masuda, H. (2000).** Effects of peppermint extracts on experimental allergic rhinitis in rats. *Aroma Research, 1*(3), 61-66.
- Kandyliari, A., Potsaki, P., Bousdouni, P., Kaloteraki, C., Christofilea, M., Almpounioti, K., Moutsou, K., Fasoulis, C. K., Polychronis, . V., Gkalpinos, V. K., Tzakos, A. G., & Koutelidakis, A. E. (2023).** Development of dairy products fortified with plant extracts: antioxidant and phenolic content characterization. *Antioxidants, 12*(2), 500. <https://www.mdpi.com/2076-3921/12/2/500>.
- Kapp, K. (2015).** Polyphenolic and essential oil composition of *Mentha* and their antimicrobial effect. Academic Dissertation. Faculty of Pharmacy of the University of Helsinki.

- Kapp, K., Püssa, T., Orav, A., Roasto, M., Raal, A., Vuorela, P., ... & Tammela, P. (2020).** Chemical composition and antibacterial effect of *Mentha* spp. grown in Estonia. *Natural Product Communications*, 15(12). <https://doi.org/10.1177/1934578X20977615>.
- Karacaglar, N. N. Y., Bulat, T., Boyaci, I. H., & Topcu, A. (2019).** Raman spectroscopy coupled with chemometric methods for the discrimination of foreign fats and oils in cream and yogurt. *Journal of food and drug analysis*, 27(1), 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.06.008>.
- Karam, M. C., Gaiani, C., Hosri, C., Burgain, J., & Scher, J. (2013).** Effect of dairy powders fortification on yogurt textural and sensorial properties: a review. *Journal of Dairy Research*, 80(4), 400-409. <https://doi.org/10.1017/S0022029913000514>.
- Karlin, R. (1961).** Vitamin B12 formation in fermented milks and possibilities of increasing the concentration by adding *Propionibacterium shermanii* to the microbial cultures.
- Kárnyáczki, Z., & Csanádi, J. (2017).** Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Alimentaria*, 46, 403-410. <https://doi.org/10.1556/066.2016.0018>.
- Kartsova, L. A., & Alekseeva, A. V. (2008).** Effect of milk caseins on the concentration of polyphenolic compounds in tea. *Journal of Analytical Chemistry*, 63(11), 1107-1111.
- Kennedy, D., Okello, E., Chazot, P., Howes, M. J., Ohiomokhare, S., Jackson, P., ... & Wightman, E. (2018).** Volatile terpenes and brain function: investigation of the cognitive and mood effects of *Mentha* × *Piperita* L. essential oil with in vitro properties relevant to central nervous system function. *Nutrients*, 10(8), 1029. <https://doi.org/10.3390/nu10081029>.
- Kerdiles, O., Layé, S., & Calon, F. (2017).** Omega-3 polyunsaturated fatty acids and brain health: Preclinical evidence for the prevention of neurodegenerative diseases. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.09.003>.
- Kessler, H. G. (1998).** The structure of fermented milk products as influenced by technology and composition.
- Khalil, A. F., Elkatry, H. O., & El Mehairy, H. F. (2015).** Protective effect of peppermint and parsley leaves oils against hepatotoxicity on experimental rats. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(2), 353-359. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2015.11.004>.
- Khalil, O. S., Ismail, H. A., & Elkot, W. F. (2022).** Physicochemical, functional and sensory properties of probiotic yoghurt flavored with white sapote fruit (*Casimiroa edulis*). *Journal of Food Science and Technology*, 59(9), 3700-3710. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05393-5>.
- Khan, T., Khan, M. A., Ullah, N., & Nadhman, A. (2021).** Therapeutic potential of medicinal plants against COVID-19: The role of antiviral medicinal metabolites. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 31, 101890. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101890>.
- Khandelwal, K.R. (2000).** *Practical Pharmacognosy: Technique and experiments* (8e éd.). Pune, Maharashtra: Nirali Prakashan.

- Khelifi, H., Saada, D. A., Bekada, A. M. A., & Dehimeche, N. (2018).** Production and quality assessment of a set-style yogurt fortified with low concentrations of *Thymus vulgaris* L phenolic extracts. *South Asian Journal of Experimental Biology*, 8(6), 222-234.
- Khurshed, A., & Jain, V. (2021).** Phytochemical screening, antioxidant, and antimicrobial activity of different *Portulaca oleracea* L. extracts growing in Kashmir Valley. *Journal of Biochemical Technology*, 12(3), 1-8.
- Kim, H., & Min, D. B. (1989).** Interaction of flavor compounds with protein. Flavor chemistry of lipid foods. Min, D. B. & Smouse, T. H. (Eds), American oil chemists' Society, Champaign, Illinois, 404-420.
- Kim, K. H., Hwang, H. R., Jo, J. E., Lee, S. Y., Kim, N. Y., & Yook, H. S. (2009).** Quality characteristics of yogurt prepared with flowering cherry (*Prunus serrulata* L. var. *spontanea* Max. wils.) fruit powder during storage. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 38(9), 1229-1236.
- Kim, M., Yoo, G., Randy, A., Son, Y. J., Hong, C. R., Kim, S. M., & Nho, C. W. (2020).** Lemon balm and its constituent, rosmarinic acid, alleviate liver damage in an animal model of nonalcoholic steatohepatitis. *Nutrients*, 12(4), 1166. <https://doi.org/10.3390/nu12041166>.
- Kitts, D. D., & Weiler, K. (2003).** Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery. *Current pharmaceutical design*, 9(16), 1309-1323. <https://doi.org/10.2174/1381612033454883>.
- Kok, C. R., & Hutkins, R. (2018).** Yogurt and other fermented foods as sources of health-promoting bacteria. *Nutrition reviews*, 76(Supplement_1), 4-15. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy056>.
- Komes, D., Bušić, A., Belščak-Cvitanović, A., Brnčić, M., Bosiljkov, T., Vojvodić, A., & Dujmić, F. (2017).** Novel approach to the development of functional goat's milk-based beverages using medicinal plant extracts in combination with high intensity ultrasound treatment. *Food technology and biotechnology*, 55(4), 484-495. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5123>.
- Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2003).** Food-derived bioactive peptides-opportunities for designing future foods. *Current pharmaceutical design*, 9(16), 1297-1308.
- Kose, Y.E., Altun, I., & Kose, S. (2018).** Determination of Texture Profile Analysis of Yogurt Produced By Industrial and Traditional Method. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4, 66-70.
- Koudoro, A. Y., Munvera, A. M., Kucukaydin, S., Cokou, P. A. D., Avlessi, F., Koko, D. S. C., & Ceylan, O. (2023).** Phenolic composition, anti-biofilm, anti-quorum sensing, antioxidant and enzyme inhibitory activities of *Pteleopsis Suberosa* (Combretaceae) Leaves. *Pharmacophore*, 14(3-2023), 89-99. <https://doi.org/10.51847/UFLidEIFqF>.
- Koutina, G., Knudsen, J. C., Andersen, U., & Skibsted, L. H. (2015).** Influence of colloidal calcium phosphate level on the microstructure and rheological properties of rennet-induced skim

milk gels. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 654-659. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.035>.

Kovsari, E., Gilani, P. S., Shokri, S., Borazgh, A. M., Rezagholizade-Shirvan, A., & Nia, A. P. (2024). Influence of green pepper extract on the physicochemical, antioxidant, and sensory properties of stirred yogurt. *Food Chemistry: X*, 21, 101070. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101070>.

Kowaleski, J., Quast, L. B., Steffens, J., Lovato, F., dos Santos, L. R., da Silva, S. Z., de Souza, D. M., & Felicetti, M. A. (2020). Functional yogurt with strawberries and chia seeds. *Food Bioscience*, 37, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100726>.

Kratchanova, M., Denev, P., Ciz, M., Lojek, A., & Mihailov, A. (2010). Evaluation of antioxidant activity of medicinal plants containing polyphenol compounds. Comparison of two extraction systems. *Acta Biochimica Polonica*, 57(2), 229-234.

Krzyzanowska, J., Janda, B., Pecio, L., Stochmal, A., Oleszek, W., Czubacka, A., ... & Doroszewska, T. (2011). Determination of polyphenols in *Mentha longifolia* and *M. piperita* field-grown and in vitro plant samples using UPLC-TQ-MS. *Journal of AOAC International*, 94(1), 43-50. <https://doi.org/10.1093/jaoac/94.1.43>.

KS, S., & Shinde, S. L. (2019). Phytochemical screening and evaluation of In-vitro antimicrobial properties of *Mentha piperita* L. *Int J Life Sci*, 7, 785-790.

Kudoh, Y., S. Matsuda, K. Igoshi, and T. Oki. (2001). Antioxidative peptide from milk fermented with *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* IFO 13953. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 48:44–50. <http://dx.doi.org/10.3136/nskkk.48.44>.

Kulig, D., & Erika, M. (2019). Screening of polyphenolic compounds from traditional medicinal herbs. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 9(Special issue), 487-491. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.9.special.487-491>.

Kumar, K., Debnath, P., Singh, S., & Kumar, N. (2023). An overview of plant phenolics and their involvement in abiotic stress tolerance. *Stresses*, 3(3), 570-585. <https://doi.org/10.3390/stresses3030040>.

Kumari, S., & Sarkar, PK (2016). Risques et contrôle de *Bacillus cereus* dans l'environnement de transformation industrielle des produits laitiers. *Contrôle des aliments*, 69, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.012>.

Kürekci, C., & Beyazit, N. (2022). Chemical composition and antibacterial activity of *Mentha piperita* Var. *Cirata* extracts obtained by different extraction solvents. *Gıda*, 47(3), 531-538. <https://doi.org/10.15237/gida.GD21156>.

Kwiecień, I., Łukaszyk, A., Miceli, N., Taviano, M. F., Davì, F., Kędzia, E., & Ekiert, H. (2023). In Vitro Cultures of *Scutellaria brevibracteata* subsp. *subvelutina* as a Source of Bioactive Phenolic Metabolites. *Molecules*, 28(4), 1785. <https://doi.org/10.3390/molecules28041785>.

- Labropoulos, A. E., Palmer, J. K., & Tao, P. (1982).** Flavor evaluation and characterization of yogurt as affected by ultra-high temperature and vat processes. *Journal of Dairy Science*, 65(2), 191-196. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82176-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82176-0).
- Lacroix, I. M., & Li-Chan, E. C. (2014).** Overview of food products and dietary constituents with antidiabetic properties and their putative mechanisms of action: A natural approach to complement pharmacotherapy in the management of diabetes. *Molecular Nutrition & Food Research*, 58(1), 61-78. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300223>.
- Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., & Acién-Fernández, F. G. (2020).** Spirulina for the food and functional food industries. *Food Research International*, 137, 109356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109356>.
- Lahlou, J., Amraoui, B. E., El-Wahidi, M., & Bamhaoud, T. (2022).** Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of Moroccan species of *Psidium guajava* extracts. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 73(1), 65-77. <https://doi.org/10.32394/rpzh.2022.0199>.
- Lang, Y., Gao, N., Zang, Z., Meng, X., Lin, Y., Yang, S., Yang, Y., & Li, B. (2024).** Classification and antioxidant assays of polyphenols: A review. *Journal of Future Foods*, 4(3), 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.07.002>.
- Langler, J. E., & Day, E. A. (1964).** Development and flavor properties of methyl ketones in milk fat. *Journal of Dairy Science*, 47, 1291–1296.
- Lapornik, B., Prošek, M., & Wondra, A. G. (2005).** Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of food engineering*, 71(2), 214-222. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.036>.
- Laws, A., Gu, Y., & Marshall, V. (2001).** Biosynthesis, characterisation, and design of bacterial exopolysaccharides from lactic acid bacteria. *Biotechnology advances*, 19(8), 597-625.
- Lee, H. S., Song, M. W., Kim, K. T., Hong, W. S., & Paik, H. D. (2021).** Antioxidant effect and sensory evaluation of yogurt supplemented with hydroponic ginseng root extract. *Foods*, 10(3), 639. <https://doi.org/10.3390/foods10030639>.
- Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2010).** Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(9), 1127–1136. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.r.05>.
- Leenen, R., Roodenburg, A. J. C., Tijburg, L. B. M., & Wiseman, S. A. (2000).** A single dose of tea with or without milk increases plasma antioxidant activity in humans. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54(1), 87-92.
- Lemke, S., Tao, X., & Kushner, G. J. (2022).** Assuring the food safety of crops developed through breeding. *ACS Agricultural Science & Technology*, 2(6), 1151-1165.
- Lemos, M. F., Lemos, M. F., Pacheco, H. P., Guimarães, A. C., Fronza, M., Endringer, D. C., & Scherer, R. (2017).** Seasonal variation affects the composition and antibacterial and antioxidant activities

of *Thymus vulgaris*. *Industrial Crops and Products*, 95, 543-548. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.008>.

Leopoldini, M., Russo, N., & Toscano, M. (2011). The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 125(2), 288–306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.012>.

Leory, F., Degeest, B., & De Vuyst, L. (2002). A novel area of predictive modeling: describing the functionality of beneficial micro-organisms in foods. *International Journal of Food Microbiology*, 73, 251-259.

Lesme, H. (2019). Impact des modifications de texture obtenues par des assemblages protéiques innovants sur la qualité organoleptique de produits laitiers. These de Doctorat. Nantes, Ecole nationale vétérinaire).316 p.

Lesme, H., Rannou, C., Famelart, M. H., Bouhallab, S., & Prost, C. (2020). Yogurts enriched with milk proteins: Texture properties, aroma release and sensory perception. *Trends in food science & technology*, 98, 140-149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.006>.

Li, Y., Liu, Y., Ma, A., Bao, Y., Wang, M., & Sun, Z. (2017). In vitro antiviral, anti-inflammatory, and antioxidant activities of the ethanol extract of *Mentha piperita* L. *Food science and biotechnology*, 26, 1675-1683. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0217-9>.

Lim, H. W., Kim, H., Kim, J., Bae, D., Song, K. Y., Chon, J. W., ... & Seo, K. H. (2018). Antimicrobial effect of *Mentha piperita* (Peppermint) oil against *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Cronobacter sakazakii*, and *Salmonella Enteritidis* in various dairy foods: Preliminary study. *Journal of Dairy Science and Biotechnology*, 36(3), 146-154. <https://doi.org/10.22424/jmsb.2018.36.3.146>.

Limeback, H., Enax, J., & Meyer, F. (2023). Clinical evidence of biomimetic hydroxyapatite in oral care products for reducing dentin hypersensitivity: an updated systematic review and meta-analysis. *Biomimetics*, 8(1), 23. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8010023>.

Lin, Y., Ge, J., Ling, H., Zhang, Y., Yan, X., & Ping, W. (2018). Isolation of a novel Stain of *Monoraphidium* sp. and characterization of its potential for α -linolenic acid and biodiesel production. *Bioresource technology*, 267, 466-472. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.081>.

Lippolis, T., Cofano, M., Caponio, G. R., De Nunzio, V., & Notarnicola, M. (2023). Bioaccessibility and bioavailability of diet polyphenols and their modulation of gut microbiota. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3813. <https://doi.org/10.3390/ijms24043813>.

Liu, Y., Gong, J. S., Marshall, G., Su, C., Shi, J. S., & Xu, Z. H. (2023). Technology and functional insights into the nicotinamide mononucleotide for human health. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(15), 4759-4775. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12612-2>.

Liu, Z. M., Xu, Z. Y., Han, M., & Guo, B. H. (2015). Efficacy of pasteurised yoghurt in improving chronic constipation: A randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *International Dairy Journal*, 40, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.08.009>.

- Lobine, D., Pairyanen, B., Zengin, G., Yilmaz, M. A., Ouelbani, R., Bensari, S., ... & Mahomoodally, M. F. (2021).** Chemical Composition and Pharmacological Evaluation and of *Toddalia asiatica* (Rutaceae) Extracts and Essential Oil by in Vitro and in Silico Approaches. *Chemistry & Biodiversity*, 18(4), e2000999. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202000999>.
- Lobiuc, A., Pavăl, N. E., Mangalagiu, I. I., Gheorghită, R., Teliban, G. C., Amăriucăi-Mantu, D., & Stoleru, V. (2023).** Future antimicrobials: Natural and functionalized phenolics. *Molecules*, 28(3), 1114. <https://doi.org/10.3390/molecules28031114>.
- Logan, A. C., Frsh N. D. & Beaulne, T. M. (2002).** The treatment of small intestinal bacterial overgrowth with enteric-coated peppermint oil: a case report. *Alternative medicine review*, 7(5), 410-417.
- Lohvina, H., Sándor, M., & Wink, M. (2021).** Effect of Ethanol Solvents on Total Phenolic Content and Antioxidant Properties of Seed Extracts of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) varieties and determination of phenolic Composition by HPLC-ESI-MS. *Diversity*, 14(1), 7. <https://doi.org/10.3390/d14010007>.
- Lone, R., Baba, S. H., Khan, S., Al-Sadi, A. M., & Kamili, A. N. (2023).** Phenolics: Key Players in Interaction Between Plants and Their Environment. In *Plant Phenolics in Abiotic Stress Management* (pp. 23-46). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6426-8_2.
- Loolaie, M., Moasefi, N., Rasouli, H., & Adibi, H. (2017).** Peppermint and its functionality: A review. *Arch Clin Microbiol*, 8(4), 54. <https://doi.org/10.4172/1989-8436.100053>.
- Loones A. (1994).** Laits fermentés par les bactéries lactiques. In *Bactéries lactiques*. Vol. 2. De Roissart, H. & Luquet, F. M. (Ed.), Lorica, Uriage, pp. 135-154.
- López, V., Martín, S., Gómez-Serranillos, M. P., Carretero, M. E., Jäger, A. K., & Calvo, M. I. (2010).** Neuroprotective and neurochemical properties of mint extracts. *Phytotherapy Research*, 24(6), 869-874. <https://doi.org/10.1002/ptr.3037>.
- Łozak, A., Soltyk, K., Ostapczuk, P., & Fijalek, Z. (2002).** Determination of selected trace elements in herbs and their infusions. *Science of the Total Environment*, 289(1-3), 33-40.
- Lubbers, S., & Butler, E. (2010).** Effects of texture and temperature on the kinetic of aroma release from model dairy custards. *Food Chemistry*, 123(2), 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.041>.
- Lubbers, S., Decourcelle, N., Vallet, N., & Guichard, E. (2004).** Flavor release and rheology behavior of strawberry fatfree stirred yogurt during storage. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(10), 3077-3082.
- Lucey, J. A. (2004).** Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties. *International Journal of Dairy Technology*, 57(2-3), 77-84. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2004.00142.x>.
- Luck, G., Liao, H., Murray, N. J., Grimmer, H. R., Warminski, E. E., Williamson, M. P., ... & Haslam, E. (1994).** Polyphenols, astringency and proline-rich proteins. *Phytochemistry*, 37(2),

357-371. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)85061-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)85061-5).

Luís, Â., Silva, F., Sousa, S., Duarte, A. P., & Domingues, F. (2014). Antistaphylococcal and biofilm inhibitory activities of gallic, caffeic, and chlorogenic acids. *Biofouling*, 30(1), 69-79. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)85061-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)85061-5).

Lupette, J., & Benning, C. (2020). Human health benefits of very-long-chain polyunsaturated fatty acids from microalgae. *Biochimie*, 178, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2020.04.022>.

Luquet FM & Corrieu G. (2005). Bactéries lactiques et probiotiques. Collection sciences et techniques agroalimentaires .Techniques et documentation. Lavoisier (Ed), Paris, 26-40.

Lutfi, E., Berge, G. M., Bæverfjord, G., Sigholt, T., Bou, M., Larsson, T., Mørkøre, T., Evensen, Ø., Sissener, N. H., Rosenlund, G., Sveen, L., Østbye, T. K., & Ruyter, B. (2022). Increasing dietary levels of the n-3 long-chain PUFA, EPA and DHA, improves the growth, welfare, robustness and fillet quality of Atlantic salmon in sea cages. *British Journal of Nutrition*, 129(1), 10–28. <https://doi.org/10.1017/S000711452200064>.

Luthria, D. L., Biswas, R., & Natarajan, S. (2007). Comparison of extraction solvents and techniques used for the assay of isoflavones from soybean. *Food chemistry*, 105(1), 325-333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.047>.

Ma, Y., Tian, J., Wang, X., Huang, C., Tian, M., & Wei, A. (2020). Fatty Acid Profiling and Chemometric Analyses for Zanthoxylum Pericarps from Different Geographic Origin and Genotype. *Foods*, 9(11), 1676. <https://doi.org/10.3390/foods9111676>.

Machiani, M. A., Javanmard, A., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2018). Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, 171, 529-537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.062>.

Maes, W., Van Camp, J., Vermeirssen, V., Hemeryck, M., Ketelslegers, J. M., Schrezenmeir, J., ... & Huyghebaert, A. (2004). Influence of the lactokinin Ala-Leu-Pro-Met-His-Ile-Arg (ALPMHIR) on the release of endothelin-1 by endothelial cells. *Regulatory peptides*, 118(1-2), 105-109. <https://doi.org/10.1016/j.regpep.2003.11.005>..

Mahaut M., Jeantet R., Brulé G. et Schuck P. (2000). Les produits industriels laitiers Tech & Doc, Lavoisier, Paris.178p.

Mahboubi, M., & Hagi, G. (2008). Antimicrobial activity and chemical composition of *Mentha pulegium* L. essential oil. *Journal of ethnopharmacology*, 119(2), 325-327.

Mahdavia, F., Saharkhiz, M. J., & Karami, A. (2017). Defensive response of radish seedlings to the oxidative stress arising from phenolic compounds in the extract of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Scientia Horticulturae*, 214, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.029>.

- Mahendran, G., & Rahman, L. U. (2020).** Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological updates on Peppermint (*Mentha× piperita* L.)—A review. *Phytotherapy Research*, 34(9), 2088-2139. <https://doi.org/10.1002/ptr.6664>.
- Mahmoudi, S., Khali, M., & Mahmoudi, N. (2013).** Etude de l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.). *Nature & Technology*, (9), 35- 40.
- Mahmoudi, S., Nasiri, R., & Jafari Sales, A. (2019).** In-vitro antibacterial effects of methanolic extract of peppermint (*Mentha Piperita* Lamiaceae) on standard *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* strain. *Jorjani Biomedicine Journal*, 7(4), 4-10.
- Mainasara, M. M., Bakar, M. F. A., Waziri, A. H., & Musa, A. R. (2018).** Comparison of phytochemical, proximate and mineral composition of fresh and dried peppermint (*Mentha piperita*) leaves. *Journal of Science and Technology*, 10(2). <https://10.30880/jst.2018.10.02.014>.
- Majewska, M., Skrzycki, M., Podsiad, M., & Czczot, H. (2011).** Evaluation of antioxidant potential of flavonoids: an in vitro study. *Acta poloniae pharmaceutica*, 68(4), 611-615.
- Makino, S., Ikegami, S., Kano, H., Sashihara, T., Sugano, H., Horiuchi, H., Saito, T., & Oda, M. (2006).** Immunomodulatory effects of polysaccharides produced by *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* OLL1073R-1. *Journal of dairy science*, 89(8), 2873-2881. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72560-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72560-7).
- Malekmohammad, K., Rafieian-Kopaei, M., Sardari, S., & Sewell, R. D. (2021).** Toxicological effects of *Mentha x piperita* (peppermint): a review. *Toxin Reviews*, 40(4), 445-459. <https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1647545>.
- Mallick, B., Sinha, S., & Roy, D. (2016).** Evaluation of antioxidative potential of field grown and tissue culture derived *Mentha piperita* L. plants. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 5(3), 382-391. <http://dx.doi.org/10.20546/ijemas.2016.503.045>.
- Manzoor, M. F., Ahmad, N., Ahmed, Z., Siddique, R., Zeng, X. A., Rahaman, A., ... & Wahab, A. (2019).** Novel extraction techniques and pharmaceutical activities of luteolin and its derivatives. *Journal of Food Biochemistry*, 43(9), e12974. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12974>.
- Marchev, A. S., Vasileva, L. V., Amirova, K. M., Savova, M. S., Koycheva, I. K., Balcheva-Sivenova, Z. P., Vasileva, S. M., & Georgiev, M. I. (2021).** Rosmarinic acid-From bench to valuable applications in food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 182-193. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.015>.
- Marshall V.M.E. (1987).** Lactic acid bacteria: starters for flavor, *FEMS Microbiology Review* , 46, 327.
- Marshall, K. (2004).** Therapeutic applications of whey protein. *Alternative medicine review*, 9(2), 136-156.
- Martín, I., Rodríguez, A., Delgado, J., & Córdoba, J. J. (2022).** Strategies for biocontrol of *Listeria monocytogenes* using lactic acid bacteria and their metabolites in ready-to-eat meat-and

dairy-ripened products. *Foods*, 11(4), 542. <https://doi.org/10.3390/foods11040542>.

Martinengo, P., Arunachalam, K., & Shi, C. (2021). Polyphenolic Antibacterials for Food Preservation: Review, Challenges, and Current Applications. *Foods*, 10(10), 2469. <https://doi.org/10.3390/foods10102469>.

Marty-Teyssset C., De La Torre F. & Garel J.R. (2000). Increased production of hydrogen peroxyde by lactobacillus delbruekii ssp bulgaricus upon aeration : involvement. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (1), 262-267. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.1.262-267.2000>.

Mary, P. R., Mutturi, S., & Kapoor, M. (2022). Non-enzymatically hydrolyzed guar gum and orange peel fibre together stabilize the low-fat, set-type yogurt: A techno-functional study. *Food Hydrocolloids*, 122, 107100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107100>.

Mashayekh, F., Pourahmad, R., Eshaghi, M. R., & Akbari-Adergani, B. (2023). Improving effect of soy whey-derived peptide on the quality characteristics of functional yogurt. *Food Science & Nutrition*. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3312>.

Massey, L. K. (2001). Dairy food consumption, blood pressure and stroke. *The Journal of nutrition*, 131(7), 1875-1878. <https://doi.org/10.1093/jn/131.7.1875>.

Matar, C., LeBlanc, J. G., Martin, L., & Perdigon, G. (2003). Biologically active peptides released in fermented milk: role and functions. *Handbook of fermented functional foods*, 177, 201.

Matejczyk, M., Świsłocka, R., Golonko, A., Lewandowski, W., & Hawrylik, E. (2018). Cytotoxic, genotoxic and antimicrobial activity of caffeic and rosmarinic acids and their lithium, sodium and potassium salts as potential anticancer compounds. *Advances in medical sciences*, 63(1), 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.advms.2017.07.003>.

Matera, R., Lucchi, E., & Valgimigli, L. (2023). Plant essential oils as healthy functional ingredients of nutraceuticals and diet supplements: A review. *Molecules*, 28(2), 901. <https://doi.org/10.3390/molecules28020901>.

McDougall, B., King, P. J., Wu, B. W., Hostomsky, Z., Reinecke, M. G., & Robinson Jr, W. E. (1998). Dicafeoylquinic and dicafeoyltartaric acids are selective inhibitors of human immunodeficiency virus type 1 integrase. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 42(1), 140-146. <https://doi.org/10.1128/aac.42.1.140>.

McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2006). A review of the bioactivity and potential health benefits of peppermint tea (*Mentha piperita* L.). *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 20(8), 619-633. <https://doi.org/10.1002/ptr.1936>.

Mckinley, M. C. (2005). The nutrition and health benefits of yoghurt. *International journal of dairy technology*, 58(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2005.00180.x>.

Mehra R, Kumar H, Rafiq S, Kumar N, Buttar HS, Leicht K, Okpala COR, Korzeniowska M. (2022). Enhancing yogurt products' ingredients: preservation strategies, processing

conditions, analytical detection methods, and therapeutic delivery—an overview. *PeerJ* 10:e14177. <https://doi.org/10.7717/peerj.14177>.

Mei, J. B., Reineccius, G. A., Knighton, W. B., & Grimsrud, E. P. (2004). Influence of strawberry yogurt composition on aroma release. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20), 6267-6270.

Mekinic, I. G., Skroza, D., Ljubenkovic, I., Simat, V., Mozina, S. S., & Katalinic, V. (2014). In vitro antioxidant and antibacterial activity of Lamiaceae phenolic extracts: A correlation study. *Food Technology and Biotechnology*, 52(1), 119–127.

Menad, N. (2018). Effet antagoniste des bactéries lactiques isolées à partir du lait de vache vis à vis de salmonella sp.thèse de doctorat. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie ,196p.

Menad, N. (2018). Effet antagoniste des bactéries lactiques isolées à partir du lait de vache vis à vis de salmonella sp.thèse de doctorat. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie ,196p.

Mende, S., Rohm, H., & Jaros, D. (2016). Influence of exopolysaccharides on the structure, texture, stability and sensory properties of yoghurt and related products. *International Dairy Journal*, 52, 57–71.

Meyer TE, Verwoert GC, Hwang S-J, Glazer NL, Smith AV, van Rooij FJA, et al. (2010) Genome-Wide Association Studies of Serum Magnesium, Potassium, and Sodium Concentrations Identify Six Loci Influencing Serum Magnesium Levels. *PLoS Genet* 6(8): e1001045. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1001045>.

Mihoubi, M. (2019). Formulation et caractérisation d'un yaourt supplémenté de la poudre de graines de lin. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie - El Harrach-Alger, 118 p.

Mikami, Y., & Yamazawa, T. (2015). Chlorogenic acid, a polyphenol in coffee, protects neurons against glutamate neurotoxicity. *Life Sciences*, 139, 69-74. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.08.005>.

Mikkelsen, K., & Apostolopoulos, V. (2019). Vitamin B1, B2, B3, B5, and B6 and the Immune System. *Nutrition and Immunity*, 115–125. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16073-9_7.

Mimica-Dukić, N., Božin, B., Soković, M., Mihajlović, B., & Matavulj, M. (2003). Antimicrobial and antioxidant activities of three *Mentha* species essential oils. *Planta medica*, 69(05), 413-419. <https://doi.org/10.1055/s-2003-39704>.

Mion, S., Rémy, B., Plener, L., Chabrière, É., & Daudé, D. (2019). Quorum sensing et quorum quenching : comment bloquer la communication des bactéries pour inhiber leur virulence? *médecine/sciences* 35, 31–38. <https://doi.org/10.1051/medsci/2018310>.

Mirzapour-Kouhdasht, A., & Garcia-Vaquero, M. (2022). Cardioprotective peptides from milk processing and dairy products: From bioactivity to final products including commercialization and legislation. *Foods*, 11(9), 1270. <https://doi.org/10.3390/foods11091270>.

- Misan, A. C., Mimica-Duki_c, N., Mandic, A. I., Sakac, M. B., Milovanovic, I. L., & Sedej, I. J. (2011). Development of a rapid resolution HPLC method for the separation and determination of 17 phenolic compounds in crude plant extracts. *Central European Journal of ChemiSty*, 9(1), 133–142. <https://doi.org/10.2478/s11532-010-0126-8>.
- Mishra, A. P., Devkota, H. P., Nigam, M., Adetunji, C. O., Srivastava, N., Saklani, S., ... & Khaneghah, A. M. (2020). Combination of essential oils in dairy products: A review of their functions and potential benefits. *Lwt*, 133, 110116. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110116>.
- Mitchell, A. R., & Crowe, F. J. (1996). Peppermint oil yield and composition from mini and industrial distilleries. *Journal of herbs, spices & medicinal plants*, 4(1), 81-88. https://doi.org/10.1300/J044v04n01_10.
- Moghadam, R. M., Ariaii, P., & Ahmady, M. (2021). The effect of microencapsulated extract of pennyroyal (*Mentha pulegium*. L) on the physicochemical, sensory, and viability of probiotic bacteria in yogurt. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 2625-2636. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00849-2>.
- Mohamed Ahmed, I. A., Alqah, H. A. S., Saleh, A., Al-Juhaimi, F. Y., Babiker, E. E., Ghafoor, K., Hassan, A. B., Osman, M. A., & Fickak, A. (2021). Physicochemical quality attributes and antioxidant properties of set-type yogurt fortified with argel (*Solenostemma argel* Hayne) leaf extract. *LWT*, 137, 110389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110389>.
- Montemurro, M., Verni, M., Rizzello, C. G., & Pontonio, E. (2023). Design of a Plant-Based Yogurt-Like Product Fortified with Hemp Flour: Formulation and Characterization. *Foods*, 12(3), 485. <https://doi.org/10.3390/foods12030485>.
- Morell, P., & Fiszman, S. (2017). Revisiting the role of protein-induced satiation and satiety. *Food Hydrocolloids*, 68, 199-210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.003>.
- Morelli, L. (2014). Yogurt, living cultures, and gut health. *The American journal of clinical nutrition*, 99(5), 1248S-1250S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.073072>.
- Moroh, J.L.A., C. Bahi, K. Dje, Y.G. Loukou and F. Guede-guina. (2008). Study of the antibacterial activity of *Morinda morindoides* (Baker) milne-redheat (rubiaceae) acetatique extract (ACE) on in-vitro growth of *Escherichia coli* Stains. *Bulletin Societe Royale des Sciences Liege*, 77: 44-61.
- Mosele, J. I., Macià, A., & Motilva, M. J. (2015). Metabolic and microbial modulation of the large intestine ecosystem by non-absorbed diet phenolic compounds: A review. *Molecules*, 20(9), 17429-17468. <https://doi.org/10.3390/molecules200917429>.
- Mostafai, R., Mohammadi, R., Nachvak, S. M., Rezaei, M., Pasdar, Y., Abdollahzad, H., Rezvanmadani, F., Moradi, S., Morvaridzadeh, M., Niazi, P., & Adeli, K. (2018). Fortified yogurt with vitamin D as a cost-effective food to prevent diabetes: A randomized double-blind clinical trial. *Journal of functional foods*, 42, 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.001>.
- Mostafazadeh, R., Ghaffarinejad, A., & Tajabadi, F. (2022). A caffeic acid electrochemical sensor amplified with GNR/CoFe2O4@ NiO and 1-Ethyl-3-methylimidazolium acetate; a new

perspective for food analysis. *Food and Chemical Toxicology*, 167, 113312. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113312>.

Moure, A., Gullón, P., Domínguez, H., & Parajó, J. C. (2006). Advances in the manufacture, purification and applications of xylo-oligosaccharides as food additives and nutraceuticals. *Process Biochemistry*, 41(9), 1913-1923. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.05.011>.

Mucciarelli, M., Camusso, W., Maffei, M., Panicco, P., & Bicchi, C. (2007). Volatile terpenoids of endophyte-free and infected peppermint (*Mentha piperita* L.): chemical partitioning of a symbiosis. *Microbial ecology*, 54, 685-696. <https://doi.org/10.007/s00248-007-9227-0>.

Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2017). Texture profile analysis of yogurt as influenced by partially hydrolyzed guar gum and process variables. *Journal of food science and technology*, 54(12), 3810–3817. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2779-1>.

Mühlbauer, W., Müller, J. (2020). Peppermint (*Mentha x piperita* L.). In drying atlas: Drying kinetics and quality of agricultural products, 395-400. Woodhead Publishing.

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. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.02.002>.

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, 26-30. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2015.11.002>.

Munro, B., Vuong, Q. V., Chalmers, A. C., Goldsmith, C. D., Bowyer, M. C., & Scarlett, C. J. (2015). Phytochemical, antioxidant and anti-cancer properties of *Euphorbia tirucalli* methanolic and aqueous extracts. *Antioxidants*, 4(4), 647-661. <https://doi.org/10.3390/antiox4040647>.

Murakami, M., Yamaguchi, T., Takamura, H., & Matoba, T. (2003). Effects of ascorbic acid and α -tocopherol on antioxidant activity of polyphenolic compounds. *Journal of food science*, 68(5), 1622-1625.

Mustafa, A., & Turner, C. (2011). Pressurized liquid extraction as a green approach in food and herbal plants extraction: A review. *Analytica chimica acta*, 703(1), 8-18. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.07.018>.

Nadeem M, Imran M, Gondal TA, Imran A, Shahbaz M, Amir RM, Sajid MW, Qaisrani TB, Atif M, Hussain G, Salehi B, OStander EA, Martorell M, Sharifi-Rad J, Cho WC, Martins N. (2019). Therapeutic potential of rosmarinic acid: A comprehensive review. *Applied Sciences*, 9(15), 3139. <https://doi.org/10.3390/app9153139>.

Nair, B. (2001). Final report on the safety assessment of *Mentha Piperita* (Peppermint) Oil, *Mentha Piperita* (Peppermint) Leaf Extract, *Mentha Piperita* (Peppermint) Leaf, and *Mentha Piperita* (Peppermint) Leaf Water. *International journal of toxicology*, 20, 61-73. <https://doi.org/10.1080/10915810152902592>.

- Najgebauer-Lejko, D., Sady, M., Grega, T., & Walczycka, M. (2011).** The impact of tea supplementation on microflora, pH and antioxidant capacity of yoghurt. *International Dairy Journal*, 21(8), 568-574. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.03.003>.
- Nasser, A. A., El-Sisi, A. S., & El Gaml, N. B. (2017).** Enhancement of labneh quality by adding essential oil and aqueous extracts of peppermint. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 95(3), 1193-1204. <https://doi.org/10.21608/ejar.2017.150238>.
- Nazir, F., Saeed, M., Abbas, A., Majeed, M. R., Israr, M., Zahid, H., Ilyas, M., & Nasir, M. (2022).** Development, quality assessment and nutritive valorization of *Spirulina platensis* in yogurt spread. *Food Science and Applied Biotechnology*, 5(2), 106-118. <https://doi.org/10.30721/fsab2022.v5.i2.173>.
- Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013).** Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451-1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>.
- Newsholme, P., Gaudel, C., & McClenaghan, N. H. (2010).** Nutrient regulation of insulin secretion and β -cell functional integrity. *The islets of Langerhans*, 91-114. <https://doi.org/10.1007/978>.
- Nikitina, E., Petrova, T., Sungatullina, A., Bondar, O., Kharina, M., Mikshina, P., ... & Kayumov, A. (2023).** The profile of exopolysaccharides produced by various *Lactobacillus* species from silage during not-fat milk fermentation. *Fermentation*, 9(2), 197. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020197>.
- Nilès, J. J. (2001).** Pour une approche pragmatique de l'éthique dans la vente. *Décisions Marketing*, 65-72.
- Nilo, M. C. S., Riachi, L. G., Simas, D. L. R., Coelho, G. C., da Silva, A. J. R., Costa, D. C. M., Alviano, D.S., Alviano, C.S., & De Maria, C. A. B. (2017).** Chemical composition and antioxidant and antifungal properties of *Mentha x piperita* L.(peppermint) and *Mentha arvensis* L.(cornmint) samples.
- Nkhata, S.G., Ustunol, Z. and Menevseoglu, A. (2015).** Iron fortification of yogurt and pasteurized milk. *J. Nutrition Health Food Sci.*, 3(3): 1-12.
- Noghani , V. F., & Sameti, S. (2015).** Effect of *Mentha piperita* L. powder on the overall acceptability, coliforms, and molds and yeasts counts of borujerd domestic cheese. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 36(3), 577-585.
- Noor, S., Mohammad, T., Rub, M. A., Raza, A., Azum, N., Yadav, D. K., Hassan, M. I., & Asiri, A. M. (2022).** Biomedical features and therapeutic potential of rosmarinic acid. *Archives of Pharmacal Research*, 1-24. <https://doi.org/10.1007/s12272-022-01378-2>.
- Nugroho, A., Kim, M. H., Choi, J., Baek, N. I., & Park, H. J. (2012).** In vivo sedative and gastroprotective activities of *Salvia plebeia* extract and its composition of polyphenols. *Archives of pharmacal research*, 35, 1403-1411. <https://doi.org/10.1007/s12272-012-0810-7>.

- Nunes, S., Madureira, A. R., Campos, D., Sarmiento, B., Gomes, A. M., Pintado, M., & Reis, F. (2017). Therapeutic and nutraceutical potential of rosmarinic acid—Cytoprotective properties and pharmacokinetic profile. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(9), 1799-1806. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1006768>.
- O’Callaghan, A., & van Sinderen, D. (2016). Bifidobacteria and their role as members of the human gut microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00925>.
- O’connell, J. E., & Fox, P. F. (2001). Significance and applications of phenolic compounds in the production and quality of milk and dairy products: a review. *International Dairy Journal*, 11(3), 103-120. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00033-4).
- Oalde Pavlović, M., Kolarević, S., Đorđević, J., Jovanović Marić, J., Lunić, T., Mandić, M., ... & Duletić-Laušević, S. (2021). A study of phytochemistry, genoprotective activity, and antitumor effects of extracts of the selected Lamiaceae species. *Plants*, 10(11), 2306. <https://doi.org/10.3390/plants10112306>.
- Oboh G., Isaac AT., Akinyemi A.J., & Ajani R.A (2014) Inhibition of key enzymes linked to type 2 diabetes and sodium nitroprusside induced lipid peroxidation in rats’ pancreas by phenolic extracts of avocado pear leaves and fruit. *Int J Biomed Sci* 10(3):210–218.
- Ocak, E., & Rajendram, R. (2013). Fortification of milk with mineral elements. *Handbook of Food Fortification and Health: From Concepts to Public Health Applications Volume 1*, 213-224. <https://doi.org/10.1007/978>.
- Ofosu, F. K., Daliri, E. B. M., Elahi, F., Chelliah, R., Lee, B. H., & Oh, D. H. (2020). New insights on the use of polyphenols as natural preservatives and their emerging safety concerns. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 525810. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.525810>.
- 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. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2021.13.2.10>.
- Ohsumi, T., Kuroki, K., Kimura, T., & Murakami, Y. (1984). A study on acute toxicities of essential oils used in endodontic treatment. *J. Kyushu Dent. Soc.*, 38(6), 1064-1071.
- Okou, O. C., Yapo, S. E. S., Kporou, K. E., Baibo, G. L., Monthaut, S., & Djaman, A. J. (2018). Évaluation de l’activité antibactérienne des extraits de feuilles de *Solanum torvum* Swartz (Solanaceae) sur la croissance in vitro de 3 souches d’entérobactéries. *Journal of Applied Biosciences*, 122, 12287-12295. <https://doi.org/10.4314/jab.v122i1.8>.
- Olaimat, A. N., Aolymat, I., Al-Holy, M., Ayyash, M., Abu Ghoush, M., Al-Nabulsi, A. A., ... & Shah, N. P. (2020). The potential application of probiotics and prebiotics for the prevention and treatment of COVID-19. *npj Science of Food*, 4(1), 17. <https://doi.org/10.1038/s41538-020-00078-9>.
- Oliveira, R.P.D.S., Perego, P., Oliveira, M.N.D., Converti, A. (2012). Growth, Organic Acids Profile and Sugar Metabolism of *Bifidobacterium lactis* in Co-Culture with *Streptococcus*

Thermophilus: The Inulin Effect. *FoodResearch International*, 48(1), 21-27. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.02.012>.

Østlie, H. M., Treimo, J., & Narvhus, J. A. (2005). Effect of temperature on growth and metabolism of probiotic bacteria in milk. *International Dairy Journal*, 15(10), 989-997. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.08.015>.

O'Sullivan, A. M., O'Grady, M. N., O'Callaghan, Y. C., Smyth, T. J., O'Brien, N. M., & Kerry J. P. (2016). Seaweed extracts as potential functional ingredients in yogurt. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 293–299. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.031>.

Ott, A., Fay, L. B., & Chaintreau, A. (1997). Determination and origin of the aroma impact compounds of yogurt flavor. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(3), 850-858.

Ott, A., Hugi, A., Baumgartner, M., & Chaintreau, A. (2000). Sensory investigation of yogurt flavor perception: Mutual influence of volatiles and acidity. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 48(2), 441-450.

Özden, A. (2008). Yoğurdun tarihi. *Güncel gastroenteroloji*, 12(2), 128-133.

Öztürk M, Duru ME, Kivrak Ş, Mercan-Doğan N, Türkoglu A, Özler MA. (2011). In vitro antioxidant, anticholinesterase and antimicrobial activity studies on three *Agaricus* species with fatty acid compositions and iron contents: A comparative study on the three most edible mushrooms. *Food Chem Toxicol*. 49: 1353-1360. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.03.019>.

Pala, V., Sieri, S., Berrino, F., Vineis, P., Sacerdote, C., Palli, D., Masala, G., Panico, S., Mattiello, A., Tumino, R., Giurdanella, M. C., Agnoli, G., Grioni, S., & Krogh, V. (2011). Yogurt consumption and risk of colorectal cancer in the Italian European prospective investigation into cancer and nutrition cohort. *International journal of cancer*, 129(11), 2712-2719. <https://doi.org/10.1002/ijc.26193>.

Palma-Tenango, M., Soto-Hernández, M. and Aguirre-Hernández, E. (2017). Flavonoids in agriculture. In: G.C. Justino (ed.) *Flavonoids Flavonoids - From Biosynthesis to Human Health* (pp.189- 201). London, UK: Intech Open. <https://doi.org/10.5772/intechopen.68626>.

Pan, D. D., Wu, Z., Peng, T., Zeng, X. Q., & Li, H. (2014). Volatile organic compounds profile during milk fermentation by *Lactobacillus pentosus* and correlations between volatiles flavor and carbohydrate metabolism. *Journal of dairy science*, 97(2), 624-631. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7131>.

Pan, L.-H., Liu, F., Luo, S.-Z., & Luo, J.-P. (2019). Pomegranate juice powder as sugar replacer enhanced quality and function of set yogurts: Structure, rheological property, antioxidant activity and in vitro bioaccessibility. *LWT - Food Science and Technology*, 115, 108479. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108479>.

Papuc, C., Goran, G. V., Predescu, C. N., Nicorescu, V., & Stefan, G. (2017). Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: Classification, structures, sources, and action mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1243-1268. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298>.

- Parekh, J., Jadeja, D., & Chanda, S. (2005).** Efficacy of aqueous and methanol extracts of some medicinal plants for potential antibacterial activity. *Turkish Journal of Biology*, 29(4), 203-210.
- Park, J., Hwang, J., Yoon, J., Kim, H., Jhoo, J., & Kim, G. (2016).** Antioxidant effect of Greek-style fermented milk added with herb extracts. In *International Scientific Conference on Probiotics and Prebiotics* (Vol. 111).
- Park, Y. W., & Nam, M. S. (2015).** Bioactive peptides in milk and dairy products: a review. *Korean journal for food science of animal resources*, 35(6), 831. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.6.831>.
- Pashapour, N., & Iou, S. G. (2006).** Evaluation of yogurt effect on acute diarrhea in 6-24-month-old hospitalized infants. *The Turkish Journal of Pediatrics*, 48(2), 115-118.
- Passerini, D., Laroute, V., Coddeville, M., Le Bourgeois, P., Loubière, P., Ritzenthaler, P., Coccagn-Bousquet, M., & Daveran-Mingot, M. L. (2013).** New insights into *Lactococcus lactis* diacetyl- and acetoin-producing strains isolated from diverse origins. *International journal of food microbiology*, 160(3), 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.10.023>.
- Pastink MI, Sieuwerts S, de Bok FAM, Janssen PWM, Teusink B, et al. (2008).** Genomics and High-Throughput Screening Approaches for Optimal Flavor Production in Dairy Fermentation. *Int Dairy J* 18: 781-789. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.07.006>.
- Paszczyk, B., & Czarnowska-Kujawska, M. (2022).** Fatty Acid Profile, Conjugated Linoleic Acid Content, and Lipid Quality Indices in Selected Yogurts Available on the Polish Market. *Animals*, 12(1), 96. <https://doi.org/10.3390/ani12010096>.
- Patel, A., Desai, S. S., Mane, V. K., Enman, J., Rova, U., Christakopoulos, P., & Matsakas, L. (2022).** Futuristic food fortification with a balanced ratio of dietary ω -3/ ω -6 omega fatty acids for the prevention of lifestyle diseases. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 140-153. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.006>.
- Paucean, A., Moldovan, O. P., Mureşan, V., Socaci, S. A., Dulf, F. V., Alexa, E., ... & Muste, S. (2018).** Folic acid, minerals, amino-acids, fatty acids and volatile compounds of green and red lentils. Folic acid content optimization in wheat-lentils composite flours. *Chemistry Central Journal*, 12, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0456-8>.
- Peker, H., & Arslan, S. (2016).** Effect of olive leaf extract on the quality of low fat apricot yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13107. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13107>.
- Peng, Y., Serra, M., Horne, D. S., & Lucey, J. A. (2009).** Effect of fortification with various types of milk proteins on the rheological properties and permeability of nonfat set yogurt. *Journal of food science*, 74(9), C666-C673. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01350.x>
- Perdigo'n, G., Fuller, R., & Raya, R. (2001).** Lactic acid bacteria and their effect on immune system. *Current Issues In Intestinal Microbiology*, 2, 27-42

- Pereira, E., Pimenta, A. I., Calhella, R. C., Antonio, A. L., Verde, S. C., Barros, L., ... & Ferreira, I. C. (2016).** Effects of gamma irradiation on cytotoxicity and phenolic compounds of *Thymus vulgaris* L. and *Mentha x piperita* L. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 370-377. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.004>.
- Perna, A., Intaglietta, I., Simonetti, A., & Gambacorta, E. (2014).** Antioxidant activity of yogurt made from milk characterized by different casein haplotypes and fortified with chestnut and sulla honeys. *Journal of Dairy Science*, 97(11), 6662–6670. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7843>.
- Petersen, M. (2013).** Rosmarinic acid: new aspects. *Phytochemistry Reviews*, 12, 207-227. <https://doi.org/10.1007/s11101-013-9282-8>.
- Petit, F. (2012).** Cartographie de l'espace chimique d'une large collection d'huiles essentielles—Visualisation en réseau. *Phytothérapie*, 10(1), 44-54. <https://doi.org/10.1007/s10298-011-0679-5>.
- Piechocka, J., Szymandera-Buszka, K., Kobus-Cisowska, J., Gramza-Michałowska, A., & Jędrusek-Golińska, A. (2019).** The effect of thiamine concentration on the antioxidative activity indices in tea extracts. *Antioxidants*, 8(11), 555. <https://doi.org/10.3390/antiox8110555>.
- Piekarska-Radzik, L., & Klewicka, E. (2021).** Mutual influence of polyphenols and *Lactobacillus* spp. bacteria in food: A review. *European Food Research and Technology*, 247(1), 9-24. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03603-y>.
- Plaskova, A., & Mlcek, J. (2023).** New insights of the application of water or ethanol-water plant extract rich in active compounds in food. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1118761. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1118761>.
- Poncet-Legrand, C., Edelmann, A., Putaux, J. L., Cartalade, D., Sarni-Manchado, P., & Vernhet, A. (2006).** Poly (L-proline) interactions with flavan-3-ols units: Influence of the molecular structure and the polyphenol/protein ratio. *Food Hydrocolloids*, 20(5), 687-697. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.06.009>.
- Porrini, M., & Riso, P. (2008).** Factors influencing the bioavailability of antioxidants in foods: a critical appraisal. *Nutrition, metabolism, and cardiovascular diseases : NMCD*, 18(10), 647–650. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2008.08.004>.
- Pramila, D. M., Xavier, R., Marimuthu, K., Kathiresan, S., Khoo, M. L., Senthilkumar, M., ... & Sreeramanan, S. (2012).** Phytochemical analysis and antimicrobial potential of methanolic leaf extract of peppermint (*Mentha piperita*: Lamiaceae). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(2), 331-335. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1232>.
- Prescott LM, Harley JP and Klein DA (2018)** Microbiologie. 5ème édition De Boeck-Supérieur, 1120. [https://doi.org/10.38150/sajeb.11\(6\).p646-666](https://doi.org/10.38150/sajeb.11(6).p646-666).
- Prigent, S. V., Gruppen, H., Visser, A. J., Van Koningsveld, G. A., De Jong, G. A., & Voragen, A. G. (2003).** Effects of non-covalent interactions with 5-O-caffeoylquinic acid (chlorogenic acid) on the heat denaturation and solubility of globular proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(17), 5088-5095.

- Qian, Z. J., Jung, W. K., & Kim, S. K. (2008).** Free radical scavenging activity of a novel antioxidative peptide purified from hydrolysate of bullfrog skin, *Rana catesbeiana* Shaw. *Bioresource technology*, 99(6), 1690-1698. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.005>.
- Qilong, R., Huabin, X., Zongbi, B. A. O., Baogen, S. U., Qiwei, Y. A. N. G., Yiwen, Y. A. N. G., & ZHANG, Z. (2013).** Recent advances in separation of bioactive natural products. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 21(9), 937-952. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(13\)60560-1](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(13)60560-1).
- Qin, Y., Nyheim, H., Haram, E. M., Moritz, J. M., & Hustvedt, S. O. (2017).** A novel self-micro-Emulsifying delivery system (SMEDS) formulation significantly improves the fasting absorption of EPA and DHA from a single dose of an omega-3 ethyl ester concentrate. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0589-0>.
- Rahman, M. N., Islam, M. N., Mia, M. M., Hossen, S., Dewan, M. F., & Mahomud, M. S. (2024).** Fortification of set yoghurts with lemon peel powders: An approach to improve physicochemical, microbiological, textural and sensory properties. *Applied Food Research*, 4(1), 100386. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100386>.
- Rahman, S. R., Alam, M. Z., & Mukta, S. (2016).** Studies on yogurt production using *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* isolated from market yogurt. *J Sylhet Agric Univ*, 3(2), 307-313.
- Raikos, V., Ni, H., Hayes, H., & Ranawana, V. (2018).** Antioxidant properties of a yogurt beverage enriched with salal (*Gaultheria shallon*) berries and blackcurrant (*Ribes nigrum*) pomace during cold storage. *Beverages*, 5(1), 2. <https://doi.org/10.3390/beverages5010002>.
- Rajapakse, N., Mendis, E., Jung, W. K., Je, J. Y., & Kim, S. K. (2005).** Purification of a radical scavenging peptide from fermented mussel sauce and its antioxidant properties. *Food research international*, 38(2), 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.002>.
- Ralte, L., Khiangte, L., Thangjam, N. M., Kumar, A., & Singh, Y. T. (2022).** GC–MS and molecular docking analyses of phytochemicals from the underutilized plant, *Parkia timoriana* revealed candidate anti-cancerous and anti-inflammatory agents. *Scientific Reports*, 12(1), 1-21. | <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07320-2>.
- Ramakrishna, B. S. (2013).** Role of the gut microbiota in human nutrition and metabolism. *Journal of gastroenterology and hepatology*, 28, 9-17. <https://doi.org/10.1111/jgh.12294>.
- Ramaswamy, H. S., & Basak, S. (1992).** Pectin and raspberry concentrate effects on the rheology of stirred commercial yogurt. *Journal of Food Science*, 57(2), 357-360. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05494.x>.
- Ramdane, S., Brahim, M., Tlemsani, A., Djermoun, A., & Hadjsadok, T. (2019).** Quelles disparités de consommation du lait et produits laitiers en Algérie à travers les régions. *Revue Agrobiologia*, 9(1), 1449-1457.
- Ramirez-Santiago, C., Ramos-Solis, L., Lobato-Calleros, C., Peña-Valdivia, C., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramírez, J. (2010).** Enrichment of stirred yogurt with soluble dietary fiber from *Pachyrhizus erosus* L. Urban: Effect on syneresis, microstructure and rheological

properties. *Journal of Food Engineering*, 101(3), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.023>.

Ramos, I. M., Seseña, S., Poveda, J. M., & Palop, M. L. (2023). Screening of Lactic Acid Bacteria Strains to Improve the Properties of Non-fat Set Yogurt by in situ EPS Production. *Food and Bioprocess Technology*, 16(11), 2541-2558. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03080-7>.

Ramos, L. R., Santos, J. S., Daguer, H., Valse, A. C., Cruz, A. G., & Granato, D. (2017). Analytical optimization of a phenolic-rich herbal extract and supplementation in fermented milk containing sweet potato pulp. *Food Chemistry*, 221, 950-958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.069>.

Ranjbar, M., Kiani, M., & Nikpay, A. (2020). Antioxidant and scolicidal activities of four Iranian Mentha species (Lamiaceae) in relation to phenolic elements. *Journal of Hermed Pharmacology*, 9(3), 200-208. <https://doi.org/10.34172/jhp.2020.26>.

Rash, K. (1990). Compositional elements affecting flavor of cultured dairy foods. *Journal of dairy science*, 73(12), 3651-3656. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)79068-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)79068-6).

Rawel, H. M., Czajka, D., Rohn, S., & Kroll, J. (2002). Interactions of different phenolic acids and flavonoids with soy proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 30(3-4), 137-150. [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(02\)00016-8](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(02)00016-8).

Rawson, H. L., & Marshall, V. M. (1997). Effect of ‘ropy’ Stains of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* on rheology of stirred yogurt. *International journal of food science & technology*, 32(3), 213-220. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1997.00395.x>.

Reddy, V. C., Vidya Sagar, G. V., Sreeramulu, D., Venu, L., & Raghunath, M. (2005). Addition of milk does not alter the antioxidant activity of black tea. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 49(3), 189-195. <https://doi.org/10.1159/000087071>.

Renoz, F., Demeter, S., Degand, H., Nicolis, S. C., Lebbe, O., Martin, H., Deneubourg, J., Fauconnier, M., Morsomme, P., & Hance, T. (2022). The modes of action of *Mentha arvensis* essential oil on the granary weevil *Sitophilus granarius* revealed by a label-free quantitative proteomic analysis. *Journal of Pest Science*, 95(1), 381-395. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01381-4>.

Riachi, L. G., & De Maria, C. A. (2015). Peppermint antioxidants revisited. *Food chemistry*, 176, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.028>.

Riahi, L., Elferchichi, M., Ghazghazi, H., Jebali, J., Ziadi, S., Aouadhi, C., ... & 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.032>.

Righi, N., Boumerfeg, S., Fernandes, P. A., Deghima, A., Baali, F., Coelho, E., ... & Baghiani, A. (2020). *Thymus algeriensis* Bioss & Reut: Relationship of phenolic compounds composition with in vitro/in vivo antioxidant and antibacterial activity. *Food Research International*, 136, 109500. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109500>.

Rita, P., & Animesh, D. K. (2011). An updated overview on peppermint (*Mentha piperita* L.). *International Research Journal of Pharmacy*, 2(8), 1-10.

Robinson R.K., & A.Y. (1986). Recent developments in Yogurt Manufacture. In: *Modern Dairy Technology*. Hudson B.J.F. (Ed.), Elsevier Applied Science Publishers, London, pp. 1-36.

Robinson, R. K. (2002). Yoghurt types and manufacture. In H. Roginsky, J.W. Fuquay, & P. F. Fox (Eds.), *Encyclopedia of dairy sciences* (pp. 1055e1068). London, UK: Academic Press.

Robles-Martínez, M., Patiño-Herrera, R., Pérez-Vázquez, F. J., Montejano-Carrizales, J. M., González, J. F. C., & Pérez, E. (2020). *Mentha piperita* as a natural support for silver nanoparticles: A new *Anti-candida albicans* treatment. *Colloid and Interface Science Communications*, 35, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2020.100253>.

Rohloff, J., Dragland, S., Mordal, R., & Iversen, T. (2005). Effect of harvest time and drying method on biomass production, essential oil yield, and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Agricultural and Food ChemiSty*, 53, 4143–4148. <https://doi.org/10.1021/jf047998s>.

Romanazzi, G., & Feliziani, E. (2014). *Botrytis cinerea* (gray mold). In *Postharvest decay* (pp. 131-146). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00004-1>.

Roshanak, S., Rahimmalek, M., & Goli, S. A. H. (2016). Evaluation of seven different drying treatments in respect to total flavonoid, phenolic, vitamin C content, chlorophyll, antioxidant activity and color of green tea (*Camellia sinensis* or *C. assamica*) leaves. *Journal of food science and technology*, 53, 721-729.. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2030-x>..

Roshanpour, S., Tavakoli, J., Beigmohammadi, F., Alaei, S., & Mousavi Khaneghah, A. (2023). Extraction of phenol compound from *Mentha piperita* by ultrasonic waves based on a response surface methodology. *Food Science & Nutrition*, 11(2), 613-626. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2467>.

Rout, S., Tambe, S., Deshmukh, R. K., Mali, S., Cruz, J., Srivastav, P. P., Amin, P. D., Gaikwad, K. K., Andrade, E. H. de A. & Oliveira, M. S. de. (2022). Recent trends in the application of essential oils: The next generation of food preservation and food packaging. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 129, pp. 421–439) Elsevier Ltd, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.012>.

Routray, W., & Mishra, H. N. (2011). Scientific and technical aspects of yogurt aroma and taste: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10(4), 208-220. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00151.x>.

Roux, D., & Catier, O. (2007). *Botanique, pharmacognosie, phytothérapie*. 3ème édition. Ed. Wolters Kluwer, Dalian. China. P141

Rudrapal, M., Khairnar, S. J., Khan, J., Dukhyil, A. B., Ansari, M. A., Alomary, M. N., ... & Devi, R. (2022). Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: Insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism (s) of action. *Frontiers in pharmacology*, 13, 806470. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.806470>.

- Rul, F. (2017).** Yogurt microbiology, organoleptic properties and probiotic potential. In R. C. Ray & M. Didier (Eds.), *Fermented foods, Part II: Technological interventions* (pp. 418–450). CRC Press.
- Russo, D. (2018).** Flavonoids and the structure-antioxidant activity relationship. *Journal of Pharmacognosy and Natural Products*, 4(1), 30–1. <https://doi.org/10.4172/2472-0992.1000e109>.
- Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, J. M., & Bressollier, P. (2013).** An overview
- Saadoudi, M. (2019).** Caractérisation biochimique, conservation et essais d'élaboration des produits alimentaires à base du fruit de *Zizyphus lotus* L. Thèse de doctorat. UNIV. Batna 155p.
- Saal, H., and R. J. Krebs. (1975).** Flavors and ingredients survey. *Am. Dairy Rev.* 3, 27–37.
- Saavedra, J. M., Bauman, N. A., Perman, J. A., Yolken, R. H., & Oung, I. (1994).** Feeding of *Bifidobacterium bifidum* and *Streptococcus thermophilus* to infants in hospital for prevention of diarrhoea and shedding of rotavirus. *The lancet*, 344(8929), 1046-1049. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)91708-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)91708-6).
- Saberi, S. E. M., & Chua, L. S. (2023).** Potential of rosmarinic acid from *Orthosiphon aristatus* extract for inflammatory induced diseases and its mechanisms of action. *Life Sciences*, 122170. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2023.122170>.
- Saeidi, K., & Mirfakhraie, S. (2017).** Chemical composition and insecticidal activity *Mentha piperita* L. essential oil against the cowpea seed beetle *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Entomological and Acarological Research*, 49(3). <https://doi.org/10.4081/jear.2017.6769>.
- Safdar, M. N., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., & Saddozai, A. A. (2017).** Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of food and drug analysis*, 25(3), 488-500. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.07.010>.
- Saffidine K, Sahli F, Zerroug M . (2015).** Antioxidant and antimicrobial activities of *Plantago major*. *Int J Pharm Pharm Sci*, 7(5), 58-64.
- Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016).** Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 978–986. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.027>.
- Sahan, N., Yasar, K., & Hayaloglu, A. A. (2008).** Physical, chemical and flavour quality of non-fat yogurt as affected by a β -glucan hydrocolloidal composite during storage. *Food hydrocolloids*, 22(7), 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.010>.
- Saidi I. (2019).** Caractérisation et valorisation d'une plante de la famille des Fabaceae : *Gleditsia triacanthos* de la région de Sidi Bel Abbès : Extraction des substances bioactives. Thèse de doctorat : Université El Djillali Sidi Bel Abbès (Algérie).

- Saint-Eve, A., Lévy, C., Le Moigne, M., Ducruet, V., & Souchon, I. (2008).** Quality changes in yogurt during storage in different packaging materials. *Food chemistry*, 110(2), 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.070>.
- Salamatullah, A. M. (2022).** Antioxidant, anti-inflammatory, and analgesic properties of chemically characterized polyphenol-rich extract from *Withania adpressa* Coss. ex Batt. *Life*, 13(1), 109. <https://doi.org/10.3390/life13010109>.
- Salamatullah, A. M. (2022).** Antioxidant, anti-inflammatory, and analgesic properties of chemically characterized polyphenol-rich extract from *Withania adpressa* Coss. ex Batt. *Life*, 13(1), 109. <https://doi.org/10.3390/life13010109>.
- Saleem, G. N., Gu, R., Qu, H., Bahar Khaskheli, G., Rashid Rajput, I., Qasim, M., & Chen, X. (2024).** Therapeutic potential of popular fermented dairy products and its benefits on human health. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1328620. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1328620>.
- Saleh A, Mohamed AA, Alamri MS, Hussain S, Qasem AA, Ibraheem MA (2020).** Effect of Different Starches on the Rheological, Sensory and Storage Attributes of Non-fat Set Yogurt. *Foods*. 9(1):61. <https://doi.org/10.3390/foods9010061>.
- Salehi, B., Stojanović-Radić, Z., Matejić, J., Sharopov, F., Antolak, H., Kregiel, D., Sharifi-Rad, J. et al., (2018).** Plants of genus *Mentha*: From farm to food factory. *Plants*, 7(3), 70. <https://doi.org/10.3390/plants7030070>.
- Salehi, F. (2021).** Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: A review. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4666-4686. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2430>.
- Saliba, S. (2015).** Nouvelles approches biotechnologiques pour l'obtention d'alcaloïdes: culture in vitro de *Leucospermum aestivum* L. et isolement d'endophytes bactériens d'Amaryllidaceae (Doctoral dissertation, Université de Lorraine). 247p.
- Salvador, D. (2018).** Étude structurale d'un système d'efflux tripartite bactérien MexAB-OprM impliqué dans la résistance aux antibiotiques chez *Pseudomonas aeruginosa*. Thèse de doctorat, université de bordeaux, 233p.
- Sanders, M. E., & Klaenhammer, T. R. (2001).** Invited review: the scientific basis of *Lactobacillus acidophilus* NCFM functionality as a probiotic. *Journal of dairy science*, 84(2), 319-331. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74481-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74481-5).
- Santana, L. R., Santos, L., Natalicio, M. A., Mondragon-Bernal, O. L., Elias, E. M., Silva, C. B., Zepka L., Martins, L., Vernaza, M., Castillo-Pizarro, C., .. & Bolini, H. (2006).** Sensory profile of peach flavored light yogurt. *Food Science and Technology*, 26, 619-625. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000300021>.
- Santillán-Urquiza, E., Méndez-Rojas, M. Á., & Vélez-Ruiz, J. F. (2017).** Fortification of yogurt with nano and micro sized calcium, iron and zinc, effect on the physicochemical and rheological properties. *LWT*, 80, 462-469. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.025>.

- Santos-Buelga, C., González-Paramás, A. M., Oludemi, T., Ayuda-Durán, B., & González-Manzano, S. (2019).** Plant phenolics as functional food ingredients. *Advances in food and nutrition research*, 90, 183-257. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.012>.
- Sarabi-Jamab, M. and Niazmand, R. (2009).** Effect of essential oil of *Mentha piperita* and *Ziziphora clinopodioides* on *Lactobacillus acidophilus* activity as bioyogurt starter culture. *Am.-Eur. J. Agric. Environ. Sci.* 6(2):129–131 .
- Sarabi-Jamab, M., & Niazmand, R. (2009).** Effect of essential oil of *Mentha piperita* an *Ziziphora clinopodioides* on *Lactobacillus acidophilus* activity as bio yoghurt starter culture. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 6(2), 129–131.
- Sarkar, S. (2019).** Potentiality of probiotic yoghurt as a functional food—a review. *Nutrition & Food Science*, 49(2), 182-202. <https://doi.org/0.1108/NFS-05-2018-0139>.
- Sarker, P., Begum, R., Hasan, M. R., & Akter, S. (2022).** Physicochemical, microbiological and sensory properties of carrot juice fortified set-style yoghurt. *Food Research*, 6(5), 215-222. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(5\).526](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(5).526).
- Sarr, S. O., Fall, A. D., Gueye, R., Diop, A., Diatta, K., Diop, N., NDiaye, B., Diop, Y. M. (2015).** Etude de l'activité antioxydante des extraits des feuilles de *Vitex doniana* (Verbenacea). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1263-1269. <http://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.11>.
- Satorabi, M., Salehi, F., & Rasouli, M. (2021).** The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS modeling. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 468–480. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1898520>.
- Savinova O S, Begunova A V, Ijabadeniyi O A, Moiseenko K V and Fedorova T V (2022).** Functional Properties and Metabolic Profile of National Fermented Products of Russia and South Africa. *KnE Life Sciences* 271-284.
- Savych, A., Basaraba, R., Muzyka, N., & Ilashchuk, P. (2021).** Analysis of fatty acid composition content in the plant components of antidiabetic herbal mixture by GC-MS. *Pharmacia*, 68(2), 433-439. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.68.e66693>.
- Sazawal, S., Habib, A. A., Dhingra, U., Dutta, A., Dhingra, P., Sarkar, A., Deb, S., Alam, J., Husna, A., & Black, R. E. (2013).** Impact of micronutrient fortification of yoghurt on micronutrient status markers and growth—a randomized double blind controlled trial among school children in Bangladesh. *BMC Public Health*, 13, 1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-514>.
- Schirle-Keller, J. P., Chang, H. H., & Reineccius, G. A. (1992).** Interaction of flavor compounds with microparticulated proteins. *Journal of food science*, 57(6), 1448-1451.
- Schkoda P, Stumpf A, Kessler HG (1997).** Stability of texture of fer-mented milk products in relation to composition, In *Texture of fermented milk products and dairy desserts*. IDF Symposium: Italia, International Dairy Federation pp:115-122.

Schmidt JL., Tourneur C., Lenoir J., 1994. Fonction et choix des bactéries lactiques en technologie laitière. In : De Roissart H et Luquet FM. Bactéries lactiques Tomes II. Edition : Loriga, Paris. pp37-54.

Serafini, M., Testa, M. F., Villaño, D., Pecorari, M., Van Wieren, K., Azzini, E., Brambilla, A., & Maiani, G. (2009). Antioxidant activity of blueberry fruit is impaired by association with milk. *Free Radical Biology and Medicine*, 46(6), 769-774. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2008.11.023>.

Serra, M., Trujillo, A. J., Guamis, B., & Ferragut, V. (2009). Flavour profiles and survival of starter cultures of yoghurt produced from high-pressure homogenized milk. *International Dairy Journal*, 19(2), 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.08.002>.

Settachaimongkon, S., van Valenberg, H. J., Winata, V., Wang, X., Nout, M. R., van Hooijdonk, T. C., Zwietering, M. H., & Smid, E. J. (2015). Effect of sublethal preculturing on the survival of probiotics and metabolite formation in set-yoghurt. *Food microbiology*, 49, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.01.011>.

Sgroi, F., Sciortino, C., Baviera-Puig, A., & Modica, F. (2024). Analyzing consumer trends in functional foods: A cluster analysis approach. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101041. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101041>.

Shab-Bidar, S., Neyestani, T. R., Djazayeri, A., Eshraghian, M. R., Houshiarrad, A., Gharavi, A. A., Kalayi, A., Shariatzadeh, N., Zahedirad, M., Khalaji, N., & Haidari, H. (2011). Regular consumption of vitamin D-fortified yogurt drink (Doogh) improved endothelial biomarkers in subjects with type 2 diabetes: a randomized double-blind clinical trial. *BMC medicine*, 9, 1-10. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-125>.

Shah, N. P. (2007). Functional cultures and health benefits. *International Dairy Journal*, 17(11), 1262–1277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.01.014>.

Shah, P. P., & Mello, P. M. D. (2004). A review of medicinal uses and pharmacological effects of *Mentha piperita*. *Natural Product Radiance*, 3(4), 214–221.

Shahbazi, Y., & Shavisi, N. (2019). Effects of Oregano Methanolic Extract on the Chemical, Microbial, and Sensory Properties of Yogurt. *Journal of Nutrition, Fasting & Health*, 7(3). <http://dx.doi.org/10.22038/jnfh.2019.39732.1189>.

Shahein, M. R., El-Sayed, M. I., Raya-Álvarez, E., Elmeligy, A. A., Hussein, M. A. M., Mubarak, M. A., Agil, A., & Elmahallawy, E. K. (2023). Fortification of Fermented Camel Milk with *Salvia officinalis* L. or *Mentha piperita* Leaves Powder and Its Biological Effects on Diabetic Rats. *Molecules*, 28(15), 5749. <https://doi.org/10.3390/molecules28155749>.

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of functional foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>.

Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2016). Beverages fortified with omega-3 fatty acids, dietary fiber, minerals, and vitamins. Taylor & Francis Group LL. *Handbook of Functional Beverages and Human Health*. Taylor & Francis Group LL, 801-813.

- Shahidi, F., & Peng, H. (2018).** Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds. *Journal of Food Bioactives*, 4, 11-68. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.4162>.
- Shaikh, S., Yaacob, H. B., & Rahim, Z. H. A. (2014).** Prospective role in treatment of major illnesses and potential benefits as a safe insecticide and natural food preservative of mint (*Mentha* spp.): a Review. *Asian J Biomed Pharm Sci*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.15272/ajbps.v4i35.559>.
- Shang, X., Zhang, M., Hu, J., Zhang, Y., Yang, L., & Hou, X. (2022).** Chemical compositions, extraction optimizations, and in vitro bioactivities of flavonoids from perilla leaves (*Perillae folium*) by microwave-assisted natural deep eutectic solvents. *Antioxidants*, 12(1), 104. <https://doi.org/10.3390/antiox12010104>.
- Shariati, Z., Jouki, M., & Rafiei, F. (2020).** Flavored functional drinking yogurt (Doogh) formulated with *Lactobacillus plantarum* LS5, cress seed gum, and coriander leaves extract. *Food science & nutrition*, 8(2), 894-902. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1367>.
- Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022).** Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food chemistry*, 383, 132531. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132531>.
- Shiravani, M., & Ansari, S. (2020).** Yogurt fortification with walnut leaf extract and investigation of its physicochemical and sensory properties. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 12(4), 1 -17.
- Shokery, E. S., El-Ziney, M. G., Yossef, A. H., & Mashaly, R. I. (2017).** Effect of green tea and *Moringa* leaf extracts fortification on the physicochemical, rheological, sensory and antioxidant properties of set-type yoghurt. *J Adv Dairy Res*, 5(179), 2. <https://doi.org/10.4172/2329-888X.1000179>.
- Shori, A. B., Kee, L. A., & Baba, A. S. (2021).** Total phenols, antioxidant activity and sensory evaluation of bread fortified with spearmint. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46, 5257-5264. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05012-5>.
- Shori, A.B. (2022).** Storage quality and antioxidant properties of yogurt fortified with polyphenol extract from nutmeg, black pepper, and white pepper. *Electron J Biotechnol* 57:24–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2022.03.003>.
- Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003).** Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(8), 2144-2155. <https://doi.org/10.1021/jf020444+>.
- Sieuwerts, S. (2016).** Microbial interactions in the yoghurt consortium: current status and product implications. *SOJ Microbiology & Infectious Diseases*, 4(2), <https://doi.org/10.15226/SOJMID/4/2/00150>.
- Sieuwerts, S., Molenaar, D., van Hijum, S.A.F.T., Beerthuyzen, M., Stevens, M.J.A., Janssen, P.W.M., Ingham, C.J., de Bok, F.A.M., de Vos, W.M. and van Hylekama Vlieg, J.E.T. (2010).** Mixed culture transcriptome analysis reveals molecular basis of mixed culture

growth in *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*. *Applied and Environmental Microbiology* 76: 7775–7784. <https://doi.org/10.1128/aem.01122-10>.

Sik, B., Székelyhidi, R., Lakatos, E., Kapesándi, V., & Ajtony, Z. (2022). Analytical procedures for determination of phenolics active herbal ingredients in fortified functional foods: an overview. *European Food Research and Technology*, 248(2), 329-344. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03908-6>.

Silhavy, T. J., Kahne, D., & Walker, S. (2010). The bacterial cell envelope. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 2(5), a000414. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a000414>.

Singh, G.; Kapoor, I. P. S.; Pandey, S. K. (1998). Studies on essential oils-part thirteen. Natural antioxidant for sunflower. *Journal of scientific & industrial research*, 57(3), 139-142.

Singh, R., Shushni, M. A., & Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322-328. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.01.019>.

Singh, S. K., Ahmed, S. U., & Pandey, A. (2006). Metabolic engineering approaches for lactic acid production. *Process Biochemistry*, 41(5), 991-1000. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.12.004>.

Siró, I., Kápolna, E., Kápolna, B., & Lugasi, A. (2008). Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 51(3), 456-467. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.05.060>.

Sivakumar, D., & Jifon, J. (2018). Influence of photoselective shade nettings on postharvest quality of vegetables. In *Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality* (pp. 121-138). Academic press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00005-6>.

Size, E. O. M. (2019). Share & trends analysis report by application (cleaning & home, medical, food & beverages, spa & relaxation), by product, by sales channel, and segment forecasts, 2019-2025. Report ID, 978-1.

Smaoui, S., Hsouna, A. B., Lahmar, A., Ennouri, K., Mtibaa-Chakchouk, A., Sellem, I., ... & Mellouli, L. (2016). Bio-preservative effect of the essential oil of the endemic *Mentha piperita* used alone and in combination with BacTN635 in stored minced beef meat. *Meat science*, 117, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.03.006>.

Smit, G., Smit, B. A., & Engels, W. J. (2005). Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS microbiology reviews*, 29(3), 591-610.

Smith, F. (2004). *Handbook of Forensic Drug Analysis (1e éd.)*. New York, USA: Elsevier academic press. **Accolas, J. P., Bloquel, R., Didienne, R., & Regnier, J. (1977).** Propriétés acidifiantes des bactéries lactiques thermophiles en relation avec la fabrication du yoghourt. *Le lait*, 57(561-562), 1-23.

Sodini, I., & Béal, C. (2003). Fabrication des yaourts et lait fermentés Technique d'ingénieur

- Soltani, M., Say, D., & Guzeler, N. (2017).** Functional properties and nutritional quality of whey proteins. *Journal of International Environmental Application and Science*, 12(4), 334-338.
- Souchon, I., Saint-Eve, A., Atlan, S., Deleris, I., Guichard, E., Sémon, E., Marin, E., & Trelea, C. (2006).** Mechanistic approach to explain in-mouth aroma release and perception: case of dairy gels. In 13th World Congress of Food Science & Technology 2006 (pp. 611-611). <http://dx.doi.org/10.1051/IUFoST:20060611>.
- Souilah N, Bendif H, Ullah Z, Miara MD, Laib M, Öztürk M, Akkal S, Medjroubi K, Mustafa A M (2021).** LC-MS/MS simultaneous determination of 37 bioactive compounds in *Bunium crassifolium* Batt. and its biological activities. *J Res Pharm.* , 25(4): 450- 463. <http://dx.doi.org/10.29228/jrp.36>.
- Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. (2007).** Industrial yogurt manufacture: monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of dairy science*, 90(6), 2641-2654. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-802>.
- Stanislav, S., Lidiia, A., Yuliya, G., Andrey, L., Elizaveta, P., Irina, M., Natalia, G. K., & Aleksandr, R. (2019).** Functional dairy products enriched with plant ingredients. *Foods and Raw materials*, 7(2), 428-438. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438>.
- Stobiecka, M., Król, J., & Brodziak, A. (2022).** Antioxidant activity of milk and dairy products. *Animals*, 12(3), 245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>.
- Su, N., Li, J., Ye, Z., Chen, T., & Ye, M. (2018).** Quality properties, flavor and hypoglycemia activity of Kiwifruit-Bitter gourd fermented milks. *Food bioscience*, 22, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.02.002>.
- Sujana, P., Sridhar, T. M., Josthna, P., & Naidu, C. V. (2013).** Antibacterial activity and phytochemical analysis of *Mentha piperita* L.(Peppermint)—An important multipurpose medicinal plant. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.41012>.
- Sultana, B., Anwar, F., & Przybylski, R. (2007).** Antioxidant activity of phenolic components present in barks of *Azadirachta indica*, *Terminalia arjuna*, *Acacia nilotica*, and *Eugenia jambolana* Lam. trees. *Food chemistry*, 104(3), 1106-1114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.019>.
- Sultana, B., F. Anwar and M. Ashraf, 2009.** Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules.*, 14: 2167-2180. <https://doi.org/10.3390/molecules14062167>.
- Sun, Z., Wang, H., Wang, J., Zhou, L., & Yang, P. (2014).** Chemical composition and anti-inflammatory, cytotoxic and antioxidant activities of essential oil from leaves of *Mentha piperita* grown in China. *PloS one*, 9(12), e114767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114767>.
- Sun-Waterhouse, D., Zhou, J., & Wadhwa, S. S. (2013).** Drinking yoghurts with berry polyphenols added before and after fermentation. *Food control*, 32(2), 450-460. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.01.011>
- Sun-Waterhouse, D., Zhou, J., & Wadhwa, S. S. (2013).** Drinking yoghurts with berry

- Sutherland, I. W. (1972).** Bacterial exopolysaccharides. *Advances in microbial physiology*, 8, 143-213. [https://doi.org/10.1016/S0065-2911\(08\)60190-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2911(08)60190-3).
- Syndifrais, 1997.** Mission Scientifique De Syndifrais. Yaourts, laits fermentés. *Le Lait*, vol.77, n.3, p.321-358.
- Szoltysik, M., Kucharska, A. Z., Dąbrowska, A., Zięba, T., Bobak, Ł., & Chrzanowska, J. (2021).** Effect of two combined functional additives on yoghurt properties. *Foods*, 10(6), 1159. <https://doi.org/10.3390/foods10061159>.
- Tafrihi, M., Imran, M., Tufail, T., Gondal, T. A., Caruso, G., Sharma, S., Atanassova, M., Atanassov, L., Fokou, P. V. T., & Pezzani, R. (2021).** The wonderful activities of the genus *Mentha*: Not only antioxidant properties. *Molecules*, 26(4), 1118.
- Talib, A., Samad, A., Shah, R. R., Rana, T., Hossain, M. J., Kumari, S., Kim, S. H., Muazzam, A., Hwang, Y. H., & Joo, S. T. (2024).** Yogurt: A Spoonful of Wellness for Every Body. *Food and Life*. <https://doi.org/10.5851/fl.2024.e9>.
- Tami, S. H., Aly, E., Darwish, A. A., & Mohamed, E. S. (2022).** Buffalo stirred yoghurt fortified with grape seed extract: new insights into its functional properties. *Food Bioscience*, 47, 101752. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101752>.
- Tamime A.Y., & Death H.C (1980).** Yoghurt: Technology and BiochemiSty. *J Food Protection* 43: 939-977.
- Tamime A.Y., & Robinson R.K. (1985).** Background to manufacturing practice. *In Yoghurt. Science and technology.* ed Tamime, A.Y. et Robinson, R.K., Pergamon Press, Paris. pp. 7-90.
- Tamime A.Y., & Robinson R.K. (1999).** *Yoghurt Science and technology.* (eds.). Woodhead publishing, Cambridge England. p: 431.
- Tamime AY., & Robinson RK. (2007).** *Biochemistry of fermentation InYoghurt: Science and technology.* Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, England.
- Tamura, H., Akioka, T., Ueno, K., Chujo, T., Okazaki, K. I., King, P. J., & Robinson Jr, W. E. (2006).** Anti-human immunodeficiency virus activity of 3, 4, 5-tricaffeoylquinic acid in cultured cells of lettuce leaves. *Molecular nutrition & food research*, 50(4-5), 396-400. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200500216>.
- Teanpaisan, R., & Piwat, S. (2014).** *Lactobacillus paracasei* SD1, a novel probiotic, reduces mutans streptococci in human volunteers: A randomized placebocontrolled trial. *Clinical Oral Investigations*, 18(3), 857–862. <http://dx.doi.org/10.1007/s00784-013-1057-5>.
- Teixeira, P. (2014).** *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *Encyclopedia of food microbiology*, 2nd ed. Jamestown Road, London, UK: Elsevier.
- Teng, J., Li, Y., Yu, W., Zhao, Y., Hu, X., Tao, N. P., & Wang, M. (2018).** Naringenin, a common flavanone, inhibits the formation of AGEs in bread and attenuates AGEs-induced oxidative stress and inflammation in RAW264. 7 cells. *Food chemistry*, 269, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.126>.

- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006).** Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>.
- Thorup, I., Würtzen, G., Carstensen, J., & Olsen, P. (1983).** Short term toxicity study in rats dosed with pulegone and menthol. *Toxicology letters*, 19(3), 207-210. [https://doi.org/10.1016/0378-4274\(83\)90120-0](https://doi.org/10.1016/0378-4274(83)90120-0).
- Tidona, F., Meucci, A., Povolò, M., Pelizzola, V., Zago, M., Contarini, G., ... & Giraffa, G. (2018).** Applicability of *Lactococcus hircilactis* and *Lactococcus laudensis* as dairy cultures. *International journal of food microbiology*, 271, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.02.015>.
- Tița, O., Constantinescu, M. A., Tița, M. A., Opruța, T. I., Dabija, A., & Georgescu, C. (2022).** Valorization on the Antioxidant Potential of Volatile Oils of *Lavandula angustifolia* Mill., *Mentha piperita* L. and *Foeniculum vulgare* L. in the Production of Kefir. *Applied Sciences*, 12(20), 10287. <https://doi.org/10.3390/app122010287>.
- Tmušić, N., Ilić, Z. S., Milenković, L., Šunić, L., Lalević, D., Kevrešan, Ž., ... & Cvetković, D. (2021).** Shading of medical plants affects the phytochemical quality of herbal extracts. *Horticulturae*, 7(11), 437. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110437>.
- Tomar, O., Akarca, G., Çağlar, A., İstek, Ö., & Gök, V. (2021).** The effect of plant extracts on antioxidant potential, microbial and sensory attributes of stirred yoghurt. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 71(1), 35-48. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2021.0104>.
- Trevisan, S. C. C., Menezes, A. P. P., Barbalho, S. M., & Guiguer, É. L. (2017).** Properties of mentha piperita: a brief review. *World J. Pharm. Med. Res*, 3(1), 309-313.
- Trivellini, A., Lucchesini, M., Maggini, R., Mosadegh, H., Villamarin, T. S. S., Vernieri, P., Mensuali-Sodi, A., & Pardossi, A. (2016).** Lamiaceae phenols as multifaceted compounds: bioactivity, industrial prospects and role of “positive-stress”. *Industrial Crops and Products*, 83, 241-254. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.039>.
- Tropcheva, R., Georgieva, R., Paskov, V., Karsheva, M., & Danova, S. (2014).** Sensory Properties of Bulgarian Yogurts, Supplemented with Lactobacilli as Probiotic Adjuncts. *Journal of Texture Studies*, 45(3), 187-194. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12065>.
- Tsuchiya, H., & Iinuma, M. (2000).** Reduction of membrane fluidity by antibacterial sophoraflavanone G isolated from *Sophora exigua*. *Phytomedicine*, 7(2), 161-165. [https://doi.org/10.1016/S0944-7113\(00\)80089-6](https://doi.org/10.1016/S0944-7113(00)80089-6).
- Uegaki, R., Ando, S., Ishida, M., Takada, O., Shinokura, K., & Kohchi, Y. (2001).** Antioxidative activity of milk from cows fed herbs. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*. 75(6), 669-671.
- Undugoda, L. and Nilmini, A. (2019).** Effect of lactic acid microbial ratio of yogurt starter culture in yogurt fermentation and reduction of post acidification. *Journal of Food and Industrial Microbiology*, 5(1), 130. <http://dr.lib.sjp.ac.lk/handle/123456789/11509>.

- Uribe, E., Marín, D., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., & Rodríguez, A. (2016). Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita* L.) as a source of natural antioxidants. *Food chemistry*, 190, 559-565. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.108>.
- Uriot, O., Denis, S., Junjua, M., Roussel, Y., Dary-Mourot, A., & Blanquet-Diot, S. (2017). *Streptococcus thermophilus* : From yogurt starter to a new promising probiotic candidate? *Journal of Functional Foods*, 37, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.038>.
- Uttara, B., Singh, A. V., Zamboni, P., & Mahajan, R. (2009). Oxidative stress and neurodegenerative diseases: a review of upstream and downstream antioxidant therapeutic options. *Current neuropharmacology*, 7(1), 65-74.
- Vahčić, N., & Hruškar, M. (2000). Slovenian fermented milk with probiotics. *Acta agriculturae Slovenica*, 76(2), 41-46. <https://doi.org/10.14720/aas.2000.76.2.15799>.
- Valsala, P., Deepika, E., & Santhy, K. S. (2021). Phytochemical Screening and Free Radical Scavenging Potential of *Mentha piperita* L. *The Indian Journal of Nutrition and Dietetics*, <https://doi.org/73-80.10.21048/IJND.2021.58.S1.27540>.
- Van Dam, R. M., & Seidell, J. C. (2007). Carbohydrate intake and obesity. *European journal of clinical nutrition*, 61(1), S75-S99. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602939>.
- Van De Guchte, M., Penaud, S., Grimaldi, C. & other authors (2006). The complete genome sequence of *Lactobacillus bulgaricus* reveals extensive and ongoing reductive evolution. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103, 9274-9279
- Van De Guchte, M., Penaud, S., Grimaldi, C., Barbe, V., Bryson, K., Nicolas, P., ... & Maguin, E. (2006). The complete genome sequence of *Lactobacillus bulgaricus* reveals extensive and ongoing reductive evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(24), 9274-9279. <https://doi.org/10.1073/pnas.0603024103>.
- Van de Water, J., Keen, C. L., & Gershwin, M. E. (1999). The influence of chronic yogurt consumption on immunity. *The Journal of nutrition*, 129(7), 1492S-1495S. <https://doi.org/10.1093/jn/129.7.1492S>.
- Van het Hof, K. H., Kivits, G. A. A., Weststrate, J. A., & Tijburg, L. B. M. (1998). Bioavailability of catechins from tea: the effect of milk. *European journal of clinical nutrition*, 52(5), 356-359. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1600568>.
- Van marle M. E. (1998). Structure and rheological properties of yoghurt gels and stirred yoghurts. Ph.D thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 151.
- Van Nieuwenhove, C. P., Moyano, A., Castro-Gómez, P., Fontecha, J., Sáez, G., Zárata, G., & Pizarro, P. L. (2019). Comparative study of pomegranate and jacaranda seeds as functional components for the conjugated linolenic acid enrichment of yogurt. *Lwt*, 111, 401-407. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.045>
- Van Tang, N.; Hong, N.T.P.; Bowyer, M.C.; van Altena, I.A.; Scarlett, C.J.(2016) Influence of solvents and novel extraction methods on bioactive compounds and antioxidant capacity of *Phyllanthus amarus*. *Chem. Pap*, 70, 556–566. <https://doi.org/10.1515/chempap-2015-0240>.

- Van, L. V., Pham, E. C., Nguyen, C. V., Duong, N. T. N., Le Thi, T. V., & Truong, T. N. (2022). In vitro and in vivo antidiabetic activity, isolation of flavonoids, and in silico molecular docking of stem extract of *Merremia tridentata* (L.). *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 146, 112611. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.112611>.
- Vasiljevic T and Shah N P (2008) Cultured milk and yogurt. In Dairy Processing and Quality Assurance. Chandan R.C, Kilara A., Shah N.P. Ed. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, pp. 219–251.
- Veiko, A. G., Olchowik-Grabarek, E., Sekowski, S., Roszkowska, A., Lapshina, E. A., Dobrzynska, I., Zamaraeva, M., & Zavodnik, I. B. (2023). Antimicrobial activity of quercetin, naringenin and catechin: Flavonoids inhibit *Staphylococcus aureus*-induced hemolysis and modify membranes of bacteria and erythrocytes. *Molecules*, 28(3), 1252. <https://doi.org/10.3390/molecules28031252>.
- Veisseyre, R. (1975). *Technologie du lait*, 3e ed. Paris, France, La Maison Rustique, 714 p.
- Vénica, C. I., Wolf, I. V., Suárez, V. B., Bergamini, C. V., & Perotti, M. C. (2018). Effect of the carbohydrates composition on physicochemical parameters and metabolic activity of starter culture in yogurts. *Lwt*, 94, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.034>.
- Villaño, D., Gironés-Vilapana, A., García-Viguera, C., & Moreno, D. A. (2022). Development of functional foods. In *Innovation strategies in the food industry* (pp. 193-207). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85203-6.00017-7>.
- Virtanen T., Pihlanto A., Akkanen S., Korhonen H. (2007). Development of antioxidant activity in milk whey during fermentation with lactic acid bacteria. *J. appl. microbial.*, 102, pp. 106–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03072.x>.
- Vital, A. C. P., Goto, P. A., Hanai, L. N., Gomes-da-Costa, S. M., de Abreu 531 Filho, B. A., Nakamura, C. V., & Matumoto-Pintro, P. T. (2015). Microbiological, functional and rheological properties of low fat yogurt supplemented with *Pleurotus ostreatus* aqueous extract. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 1028–1035. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.003>.
- Vladimir-Knežević, S., Blažeković, B., Bival Štefan, M., & Babac, M. (2012). Plant polyphenols as antioxidants influencing the human health. *Phytochemicals as nutraceuticals—global approaches to their role in nutrition and health*, 155-180.
- Vladimir-Knežević, S., Blažeković, B., Kindl, M., Vladić, J., Lower-Nedza, A. D., & Brantner, A. H. (2014). Acetylcholinesterase inhibitory, antioxidant and phytochemical properties of selected medicinal plants of the Lamiaceae family. *Molecules*, 19(1), 767-782. <https://doi.org/10.3390/molecules19010767>.
- Wajs, J., Brodziak, A., & Król, J. (2023). Shaping the physicochemical, functional, microbiological and sensory properties of yoghurts using plant additives. *Foods*, 12(6), 1275. <https://doi.org/10.3390/foods12061275>.
- Wan, Z., Khubber, S., Dwivedi, M., & Misra, N. N. (2021). Strategies for lowering the added sugar in yogurts. *Food Chemistry*, 344, 128573. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128573>.

- Wang, S. J., Chen, Q., Liu, M. Y., Yu, H. Y., Xu, J. Q., Wu, J. Q., Zhang, Y & Wang, T. (2019). Regulation effects of rosemary (*Rosmarinus officinalis* Linn.) on hepatic lipid metabolism in OA induced NAFLD rats. *Food & function*, 10(11), 7356-7365. <https://doi.org/10.1039/C9FO01677E>.
- Wang, X., Kristo, E., & LaPointe, G. (2020). Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. *Food Hydrocolloids*, 100, 105453. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105453>.
- Weerathilake, W. A. D. V., Rasika, D. M. D., Ruwanmali, J. K. U., & Munasinghe, M. A. D. D. (2014). The evolution, processing, varieties and health benefits of yogurt. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(4), 1-10.
- Wei, H., Kong, S., Jayaraman, V., Selvaraj, D., Soundararajan, P., & Manivannan, A. (2023). *Mentha arvensis* and *Mentha* × *piperita*-Vital Herbs with Myriads of Pharmaceutical Benefits. *Horticulturae*, 9(2), 224. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020224>.
- Weimann, C., & Heinrich, M. (1997). Indigenous medicinal plants in Mexico: the example of the Nahua (Sierra de Zongolica). *Botanica Acta*, 110(1), 62-72.
- Weng, Z., Zeng, F., Wang, M., Guo, S., Tang, Z., Itagaki, K., ... & Wang, F. (2024). Antimicrobial activities of lavandulylated flavonoids in *Sophora flavences* against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* via membrane disruption. *Journal of Advanced Research*, 57, 197-212. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2023.04.017>.
- Wissam, Z., Ghada, B., Wassim, A., & Warid, K. (2012). Effective extraction of polyphenols and proanthocyanidins from pomegranate's peel. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(3), 675-682.
- Wu, L., Zhang, C., Long, Y., Chen, Q., Zhang, W., & Liu, G. (2022). Food additives: From functions to analytical methods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(30), 8497-8517. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1929823>.
- Xu, D. P., Li, Y., Meng, X., Zhou, T., Zhou, Y., Zheng, J., Zhang, J.J & Li, H. B. (2017). Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assessment and resources. *International journal of molecular sciences*, 18(1), 96. <https://doi.org/10.3390/ijms18010096>.
- Xu, Z., Liu, S., Wang, H., Gao, G., Yu, P., & Chang, Y. (2014). Encapsulation of iron in liposomes significantly improved the efficiency of iron supplementation in strenuously exercised rats. *Biological Trace Element Research*, 162, 181-188.
- Xue, Z. P., Cu, X., Xu, K., Peng, J. H., Liu, H. R., Zhao, R. T., ... & Xu, Z. S. (2023). The effect of glutathione biosynthesis of *Streptococcus thermophilus* ST-1 on cocultured *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* ATCC11842. *Journal of Dairy Science*, 106(2), 884-896.
- Yahiaoui, S., Kati, D. E., Ali, L. M., El Cheikh, K., Morère, A., Menut, C., ... & Bettache, N. (2022). Assessment of antioxidant, antiproliferative, anti-inflammatory, and enzyme inhibition

activities and UPLC-MS phenolic determination of *Ficus carica* latex. *Industrial Crops and Products*, 178, 114629.

Yamamoto, E., Watanabe, R., Ichimura, T., Ishida, T., & Kimura, K. (2021). Effect of lactose hydrolysis on the milk-fermenting properties of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* 2038 and *Streptococcus thermophilus* 1131. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1454-1464.

Yamauchi R, Maguin E, Horiuchi H, Hosokawa M, Sasaki Y (2018) The critical role of urease in yogurt fermentation with various combinations of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *Journal of Dairy Science* 102: 1033- 1043.

Yamauchi, R., Fujisawa, M., Koyanagi, S., Muramatsu, A., Kobayashi, T., Wada, Y., ... & Sasaki, Y. (2023). Formate producing capacity provided by reducing ability of *Streptococcus thermophilus* NADH oxidase determines yogurt acidification rate. *Journal of Dairy Science*.

Yamauchi, R., Maguin, E., Horiuchi, H., Hosokawa, M., & Sasaki, Y. (2019). The critical role of urease in yogurt fermentation with various combinations of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *Journal of dairy science*, 102(2), 1033-1043.

Yan, Y., Xia, X., Fatima, A., Zhang, L., Yuan, G., Lian, F., & Wang, Y. (2024). Antibacterial activity and mechanisms of plant flavonoids against gram-negative bacteria based on the antibacterial statistical model. *Pharmaceuticals*, 17(3), 292. <https://doi.org/10.3390/ph17030292>.

Yao. X.H.; Zhang, Z.B.; Song, P.; Hao, J.Y.; Zhang, D.Y.; Zhang, Y.F. Different harvest seasons modify bioactive compounds and antioxidant activities of *Pyrola incarnata*. *Ind. Crops Prod.* 2016, 94, 405–412.

Yeshi, K., Crayn, D., Ritmejerýté, E., & Wangchuk, P. (2022). Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses has potential application in pharmaceutical product development. *Molecules*, 27(1), 313.

Yildirim, Ç., Kökbaş, C., Sezer, Z., Işık, Ç., Güzeler, N. (2014). Yogurt, Yogurt-Based Products and Their General Usages. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (Özel Sayı-1), 1063-1066.

Yildiz, F. (2016). Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products. CRC Press Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2016; p. 435. <https://doi.org/10.1201/9781420082081>.

Yilmaz.M.A (2020). Simultaneous quantitative screening of 53 phytochemicals in 33 species of medicinal and aromatic plants: A detailed, robust and comprehensive LC–MS/MS method validation. *Industrial Crops & Products* 149 (2020) 1123472

Yilmaztekin, M., Lević, S., Kalušević, A., Cam, M., Bugarski, B., Rakić, V., ... & Nedović, V. (2019). Characterisation of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil encapsulates. *Journal of microencapsulation*, 36(2), 109-119. <https://doi.org/10.1080/02652048.2019.1607596>.

Zeb, A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *Journal of Food Biochemistry*., 44(9), e13394. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>.

- Zhang L, Zhu C, Liu X, Su E, Cao F, Zhao L. (2022).** Study on Synergistic Antioxidant Effect of Typical Functional Components of Hydroethanolic Leaf Extract from Ginkgo Biloba In Vitro. *Molecules*. 27(2):439. <https://doi.org/10.3390/molecules27020439>
- Zhang, T., Jeong, C. H., Cheng, W. N., Bae, H., Seo, H. G., Petriello, M. C., & Han, S. G. (2019a).** Moringa extract enhances the fermentative, textural, and bioactive properties of yogurt. *LWT*, 101, 276-284.
- Zhang, T., Jeong, C. H., Cheng, W. N., Bae, H., Seo, H. G., Petriello, M. C., & Han, S. G. (2019a).** Moringa extract enhances the fermentative, textural, and bioactive properties of yogurt. *Lwt*, 101, 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.010>.
- Zhang, Y., Wei, J., Qiu, Y., Niu, C., Song, Z., Yuan, Y., & Yue, T. (2019b).** Structure-dependent inhibition of *Stenotrophomonas maltophilia* by polyphenol and its impact on cell membrane. *Frontiers in Microbiology*, 10, 492848. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02646>.
- Zhang, Z., Pang, X., Ji, Z., & Jiang, Y. (2001).** Role of anthocyanin degradation in litchi pericarp browning. *Food chemistry*, 75(2), 217-221. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00202-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00202-3).
- Zhao, L., Zhang, Y., Liu, G., Hao, S., Wang, C., & Wang, Y. (2018).** Black rice anthocyanin-rich extract and rosmarinic acid, alone and in combination, protect against DSS-induced colitis in mice. *Food & function*, 9(5), 2796-2808.
- Zharif, N., Santosh, F., Kiran, C. N., Fadli, A., Ibrahim, A., & Nizam, G. (2018).** Synergistic effect of ethanolic extract of *Melastoma malabataricum* leaves and antibiotics. *International Journal of Medical Toxicology & Legal Medicine*, 21(3and4), 167-170. <https://doi.org/10.5958/0974-4614.2018.00059.1>.
- Zielinski, A. A. F., Haminiuk, C. W. I., Alberti, A., Nogueira, A., Demiate, I. M., & Granato, D. (2014).** A comparative study of the phenolic compounds and the in vitro antioxidant activity of different Brazilian teas using multivariate statistical techniques. *Food Research International*.
- Zimmermann. (2004).** The potential of encapsulated iron compounds in food fortification: a review. *International journal for vitamin and nutrition research*, 74(6), 453-461.
- Zirnstein, G., and Hutkins, R. (2000).** *Streptococcus thermophilus*. In *Encyclopedia of Food Microbiology*. Volume 3. Robinson, R. K. (Editor-in-chief). Academic Press: London, U. K. pp 2127-2133.
- Zourari, A., Accolas, J.P. and Desmazeaud, M.J. (1992)** Metabolism and Biochemical Characteristics of Yogurt Bacteria. A review. *Lait*, 72, 1-34. <https://doi.org/10.1051/lait:199211>.

Annexes

Annexe 1

Composition des milieux de culture et des réactifs utilisés

1. Composition des milieux de culture utilisés (en g/l d'eau distillée)

1.1. Gélose Muller-Hinton

-Hydrolysât acide de caséine	17.5 g
- Infusion de viande	2.0 g
- Amidon soluble	1.5 g
- Agar-agar bactériologique	17.0 g

pH du milieu à 25°C : 7.3 ± 0.2

1.2. Bouillon Muller-Hinton

- Hydrolysât acide de caséine	17.5 g
- Infusion de viande	2.0 g
- Amidon	1.5 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7.4 ± 0.2.

1.3. Milieu MRS

- Peptone	10g
- Extrait de viande	10g
- Extrait de levure	5g
- Sodium acétate	5g
- Di-potassium hydrogénophosphate	2g
- Ammonium citrate	2g
- Magnésium sulfate	0.10g
- Manganèse sulfate	0.05g
- Glucose	20g
- Tween 80	1 ml
- Agar	15g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : pH = 6.5± 0.2

1.4. Milieu M17

-Peptone de farine de soja	5g
- Peptone de viande	2.5g
- Peptone de caséine	2.5g
- Extrait de levure	2.5g
- Extrait de viande	5.5g
- D(+) lactose	5g
- Acide ascorbique	0.5g
- Sodium β-glycérophosphate	19g
- Magnésium sulfate	0.25g
- Agar (si milieu solide)	12.75g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : 7.2 ± 0.2.

2. Composition des réactifs

2.1. Composition du réactif de Bouchardat :

Faire dissoudre 2,5 g d'iode et 5 g d'iodure de potassium dans 100 mL d'eau distillée. Un précipité iodo-ioduré de couleur brune apparaît indiquant la présence d'alcaloïdes (SALIBA , 2015).

2.2. Réactif de Dragendorff :

Le Réactif de Dragendorff (Solution mère) est constitué d'un mélange de deux solutions (A et B) et d'acide acétique glacial .

Solution A : Dissoudre 2 g de nitrate de bismuth dans 25 ml d'acide acétique glacial et ajouter 100 ml d'eau distillée.

Solution B : Dissoudre 40 g d'iodure de potassium dans 100 ml d'eau distillée.

Solution mère : Mélanger 10 ml de solution A, 10 ml de solution B, 20 ml d'acide acétique glacial et 100 ml d'eau distillée (Smith, 2004).

2.3. Réactif de Mayer *Wagner* :

Dissoudre 1.36 g de HgCl_2 dans 60 ml d'eau distillée, ajouté à une solution de 5 g iodure de potassium dilué dans 20 ml d'eau distillée, compléter le volume à 100 ml. En présence d'alcaloïdes l'apparition d'un précipité blanc crémeux indique un résultat positif (Khandelwal, 2000).

2.4. Folin-Denis :

Dissoudre 100 g de tungstate de sodium ($\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) et 20 g de d'acide phosphomolybdique dans 750 ml d'eau distillée puis ajouter 50 ml d'acide phosphorique. Chauffer à reflux le mélange pendant 2 heures. Le mélange final est complété à 1 l et la solution est conservée à l'abri de la lumière (Folin et Denis , 1912).

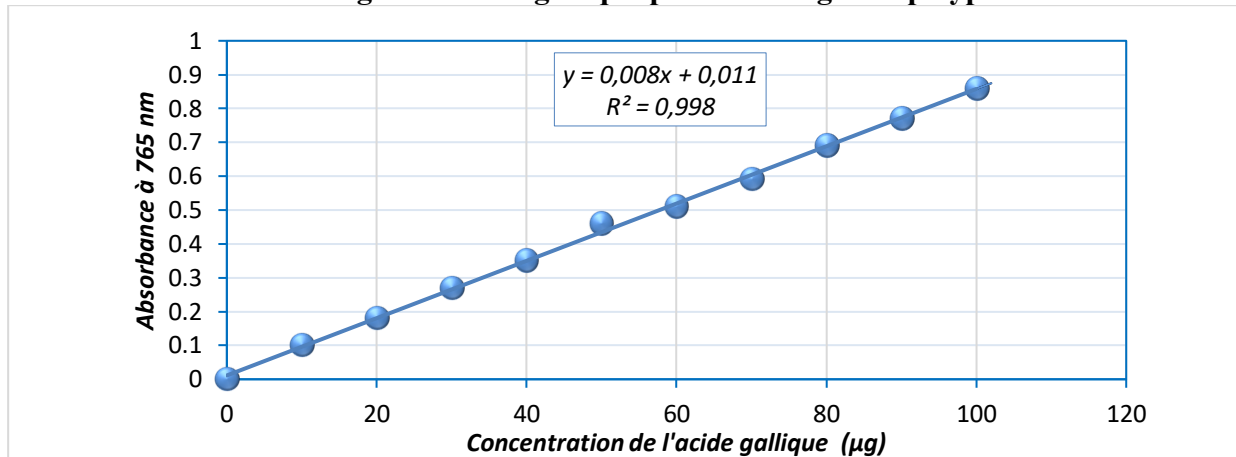
2.5. Folin-Ciocalteu

Le réactif Folin et Ciocalteu est le résultat d'une modification du réactif de Folin-Denis. La modification consistait en l'addition de sulfate de lithium et de brome au réactif phosphotungstique-phosphomolybdique à la fin de la période d'ébullition dans le cadre de sa préparation, suivi d'un refroidissement et d'une dilution. L'addition du lithium empêche la formation de précipité qui interférerait avec la quantification de l'intensité de la couleur (Folin & Ciocalteu, 1927).

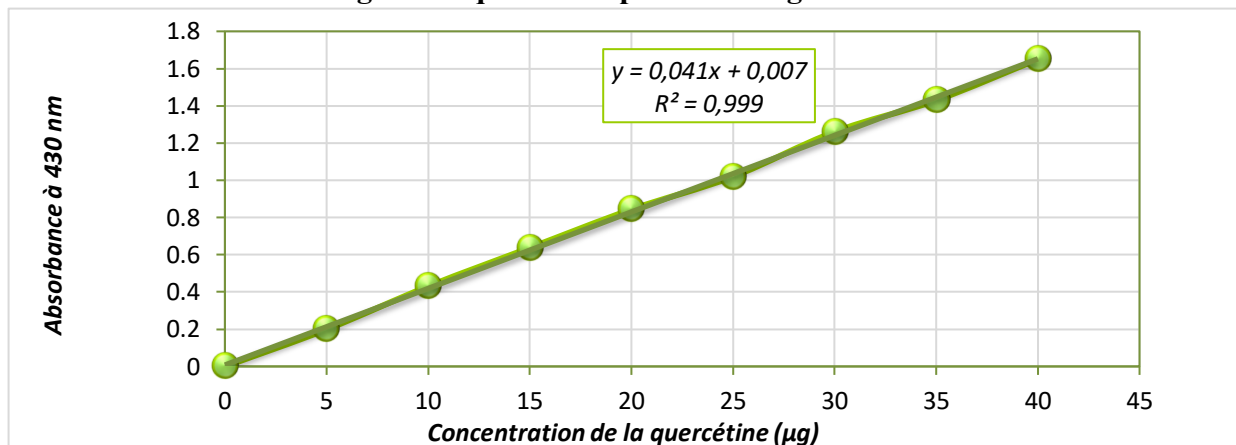
Annexe 2

Courbes d'étalonnage

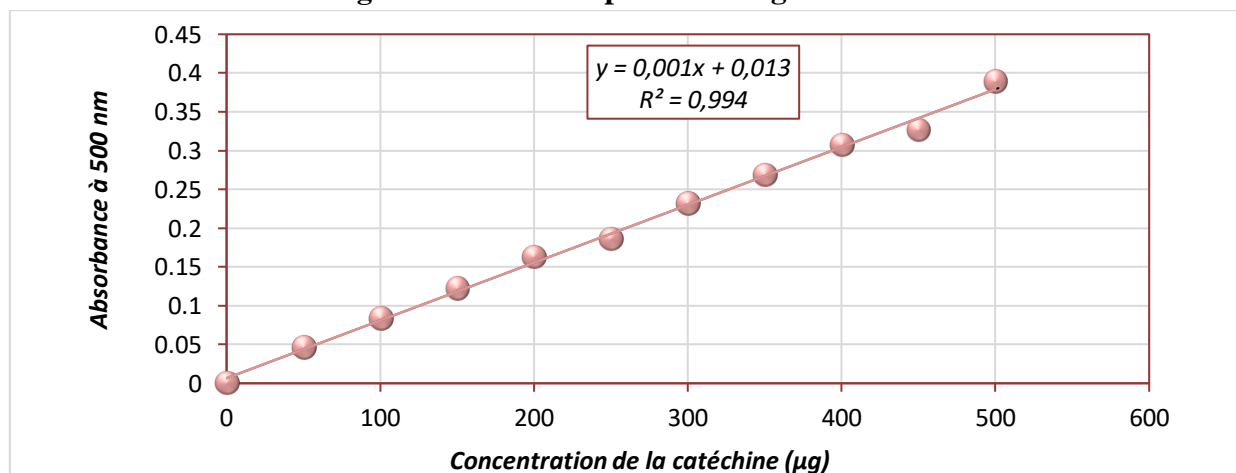
- Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.



- Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes.



- Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tanins condensés.



Annexe 3

Paramètres analytiques de la LC-MS /MS

Tableau 1. Paramètres analytiques de l'analyse LC-MS /MS des 56 étalons phytochimiques utilisés pour l'analyse des extraits de *Mentha piperita*.L.

N°	Analytes	RT ^a	r ^{2d}	RSD% ^e		Linearity Range (mg/L)	LOD/LOQ (µg/L) ^f	Recovery (%)		U ^g	Composés détectés
				Interday	Intraday			Interday	Intraday		
1	Quinic acid	3.0	0.996	0.69	0.51	0.1-5	25.7/33.3	1.0011	1.0083	0.0372	D
2	Fumaric acid	3.9	0.995	1.05	1.02	1-50	135.7/167.9	0.9963	1.0016	0.0091	D
3	Aconitic acid	4.0	0.971	2.07	0.93	0.1-5	16.4/31.4	0.9968	1.0068	0.0247	N.D.
4	Gallic acid	4.4	0.999	1.60	0.81	0.1-5	13.2/17.0	1.0010	0.9947	0.0112	D
5	Epigallocatechin	6.7	0.998	1.22	0.73	1-50	237.5/265.9	0.9969	1.0040	0.0184	N.D.
6	Protocatechuic acid	6.8	0.957	1.43	0.76	0.1-5	21.9/38.6	0.9972	1.0055	0.0350	D
7	Catechin	7.4	0.999	2.14	1.08	0.2-10	55.0/78.0	1.0024	1.0045	0.0221	N.D.
8	Gentisic acid	8.3	0.997	1.81	1.22	0.1-5	18.5/28.2	0.9963	1.0077	0.0167	D
9	Chlorogenic acid	8.4	0.995	2.15	1.52	0.1-5	13.1/17.6	1.0000	1.0023	0.0213	D
10	Protocatechuic aldehyde	8.5	0.996	2.08	0.57	0.1-5	15.4/22.2	1.0002	0.9988	0.0396	D
11	Tannic acid	9.2	0.999	2.40	1.16	0.05-2.5	15.3/22.7	0.9970	0.9950	0.0190	N.D.
12	Epigallocatechingallate	9.4	0.999	1.30	0.63	0.2-10	61.0/86.0	0.9981	1.0079	0.0147	N.D.
13	Cynarin	9.8	0.999	2.42	1.48	0.1-5	5.8/9.4	0.9983	0.9997	0.0306	N.D.
14	4-OH Benzoic acid	10.5	0.999	1.24	0.97	0.2-10	68.4/88.1	1.0032	1.0068	0.0237	N.D.
15	Epicatechin	11.6	0.996	1.47	0.62	1-50	139.6/161.6	1.0013	1.0012	0.0221	N.D.
16	Vanilic acid	11.8	0.999	1.92	0.76	1-50	141.9/164.9	1.0022	0.9998	0.0145	N.D.
17	Caffeic acid	12.1	0.999	1.11	1.25	0.05-2.5	7.7/9.5	1.0015	1.0042	0.0152	D
18	Syringic acid	12.6	0.998	1.18	1.09	1-50	82.3/104.5	1.0006	1.0072	0.0129	N.D.
19	Vanillin	13.9	0.996	1.10	0.85	0.1-5	24.5/30.4	1.0009	0.9967	0.0122	N.D.
20	Syringic aldehyde	14.6	0.999	2.51	0.77	0.4-20	19.7/28.0	1.0001	0.9964	0.0215	N.D.
21	Daidzin	15.2	0.996	2.25	1.32	0.05-2.5	7.0/9.5	0.9955	1.0017	0.0202	N.D.
22	Epicatechingallate	15.5	0.997	1.63	1.28	0.1-5	19.5/28.5	0.9984	0.9946	0.0229	N.D.
23	Piceid	17.2	0.999	1.94	1.16	0.05-2.5	13.8/17.8	1.0042	0.9979	0.0199	N.D.
24	p-Coumaric acid	17.8	0.999	1.92	1.43	0.1-5	25.9/34.9	1.0049	1.0001	0.0194	D
25	Ferulic acid-D3-IS ^h	18.8	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.0170	N.A.
26	Ferulic acid	18.8	0.999	1.44	0.53	1-50	11.8/15.6	0.9951	0.9976	0.0181	N.D.
27	Sinapic acid	18.9	0.999	1.45	0.52	0.2-10	65.2/82.3	1.0031	1.0037	0.0317	N.D.
28	Coumarin	20.9	0.999	2.11	1.54	0.05-2.5	214.2/247.3	0.9950	0.9958	0.0383	N.D.
29	Salicylic acid	21.8	0.999	1.48	1.18	0.05-2.5	6.0/8.3	0.9950	0.9998	0.0158	D
30	Cynaroside	23.7	0.997	1.56	1.12	0.05-2.5	12.1/16.0	1.0072	1.0002	0.0366	D
31	Miquelianin	24.1	0.999	1.31	0.95	0.1-5	10.6/14.7	0.9934	0.9965	0.0220	N.D.

RT^a : Temps de rétention, r^{2d} : coefficient de corrélation, RSD%^e : Ecart-type relatif, LOD/LOQ (µg/L)^f : Limite de détection/quantification, U^g (%) : pourcentage d'incertitude relative à un niveau de confiance de 95 % (k = 2), hIS : étalon interne, iN°Gr. : représente le regroupement des étalons internes, ces numéros indiquent quel IS correspond à quel composé phénolique ; N.D.: Non détecté, N.A.: Non applicable. RT^a: Temps de rétention, r^{2d} : coefficient de corrélation, RSD%^e: Ecart-type relatif, LOD/LOQ (µg/L)^f: Limite de détection/quantification, U^g (%) : pourcentage d'incertitude relative à un niveau de confiance de 95 % (k = 2), hIS : étalon interne, iN°Gr. : représente le regroupement des étalons internes, ces numéros indiquent quel IS correspond à quel composé phénolique; D : Détecté ; N.D.: Non détecté, N.A.: Non applicable.

Tableau 1 : (suite).

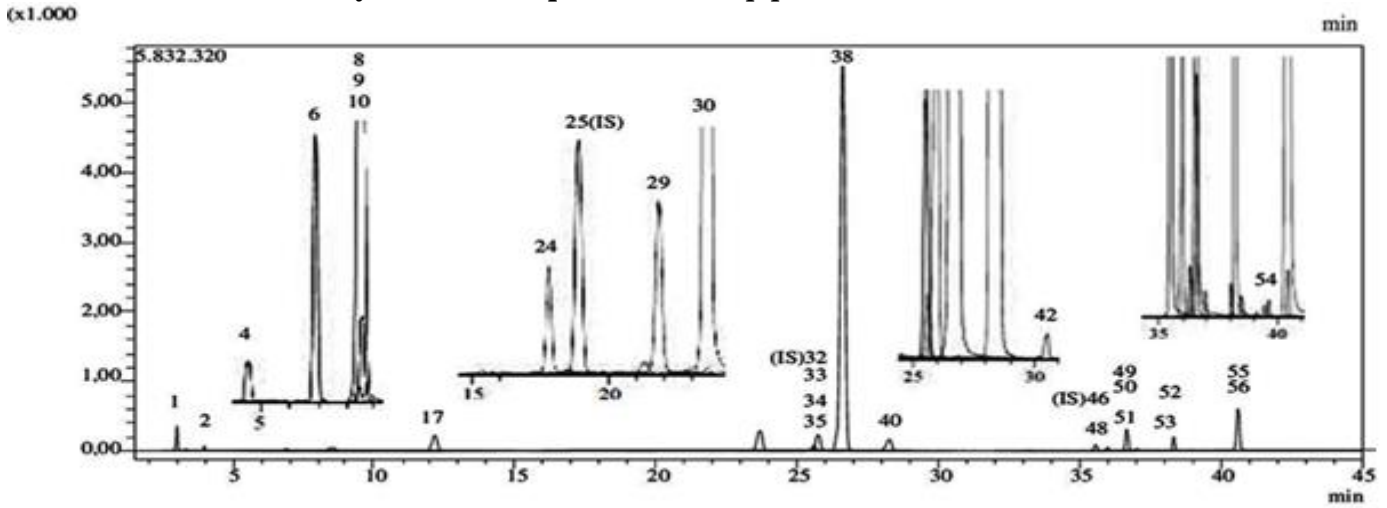
N°	Analytes	RT ^a	r ^{2d}	RSD% ^e		Linearity Range (mg/L)	LOD/LOQ (µg/L) ^f	Recovery (%)		U ^g	Composés détectés
				Interday	Intraday			Interday	Intraday		
32	Rutin-D3-IS ^h	25.5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
33	Rutin	25.6	0.999	1.38	1.09	0.1-5	15.7/22.7	0.9977	1.0033	0.0247	D
34	Isoquercitrin	25.6	0.998	2.13	0.78	0.1-5	8.7/13.5	1.0057	0.9963	0.0220	D
35	Hesperidin	25.8	0.999	1.84	1.35	0.1-5	19.0/26.0	0.9967	1.0043	0.0335	D
36	<i>o</i> -Coumaric acid	26.1	0.999	2.11	1.46	0.1-5	31.8/40.4	1.0044	0.9986	0.0147	N.D.
37	Genistin	26.3	0.991	2.01	1.28	0.1-5	14.9/21.7	1.0062	1.0047	0.0083	N.D.
38	Rosmarinic acid	26.6	0.999	1.24	0.86	0.1-5	16.2/21.2	1.0056	1.0002	0.0130	D
39	Ellagic acid	27.6	0.999	1.57	1.23	0.4-20	56.9/71.0	1.0005	1.0048	0.0364	N.D.
40	Cosmosiin	28.2	0.998	1.65	1.30	0.1-5	6.3/9.2	0.9940	0.9973	0.0083	D
41	Quercitrin	29.8	0.999	2.24	1.16	0.1-5	4.8/6.4	0.9960	0.9978	0.0268	N.D.
42	Astragalin	30.4	0.999	2.08	1.72	0.1-5	6.6/8.2	0.9968	0.9957	0.0114	D
43	Nicotiflorin	30.6	0.999	1.48	1.23	0.05-2.5	11.9/16.7	0.9954	1.0044	0.0108	N.D.
44	Fisetin	30.6	0.999	1.75	1.19	0.1-5	10.1/12.7	0.9980	1.0042	0.0231	N.D.
45	Daidzein	34.0	0.999	2.18	1.73	0.1-5	9.8/11.6	0.9926	0.9963	0.0370	N.D.
46	Quercetin-D3-IS ^h	35.6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
47	Quercetin	35.7	0.999	1.89	1.38	0.1-5	15.5/19.0	0.9967	0.9971	0.0175	N.D.
48	Naringenin	35.9	0.999	2.34	1.69	0.1-5	2.6/3.9	1.0062	1.0020	0.0392	D
49	Hesperetin	36.7	0.999	2.47	2.13	0.1-5	7.1/9.1	0.9998	0.9963	0.0321	D
50	Luteolin	36.7	0.999	1.67	1.28	0.05-2.5	2.6/4.1	0.9952	1.0029	0.0313	D
51	Genistein	36.9	0.999	1.48	1.19	0.05-2.5	3.7/5.3	1.0069	1.0012	0.0337	D
52	Kaempferol	37.9	0.999	1.49	1.26	0.05-2.5	10.2/15.4	0.9992	0.9990	0.0212	D
53	Apigenin	38.2	0.998	1.17	0.96	0.05-2.5	1.3/2.0	0.9985	1.0003	0.0178	D
54	Amentoflavone	39.7	0.992	1.35	1.12	0.05-2.5	2.8/5.1	0.9991	1.0044	0.0340	D
55	Chrysin	40.5	0.999	1.46	1.21	0.05-2.5	1.5/2.8	0.9922	1.0050	0.0323	D
56	Acacetin	40.7	0.997	1.67	1.28	0.02-1	1.5/2.5	0.9949	1.0011	0.0363	D

RT^a : Temps de rétention, r^{2d} : coefficient de corrélation, RSD%^e : Ecart-type relatif, LOD/LOQ (µg/L)^f : Limite de détection/quantification, U^g (%) : pourcentage d'incertitude relative à un niveau de confiance de 95 % (k = 2), hIS : étalon interne, iN°Gr. : représente le regroupement des étalons internes, ces numéros indiquent quel IS correspond à quel composé phénolique ; N.D.: Non détecté, N.A.: Non applicable. RT^a: Temps de rétention, r^{2d}: coefficient de corrélation, RSD%^e: Ecart-type relatif, LOD/LOQ (µg/L)^f: Limite de détection/quantification, U^g (%) : pourcentage d'incertitude relative à un niveau de confiance de 95 % (k = 2), hIS: étalon interne, iN°Gr. : représente le regroupement des étalons internes, ces numéros indiquent quel IS correspond à quel composé phénolique; D : Détecté ; N.D.: Non détecté, N.A.: Non applicable.

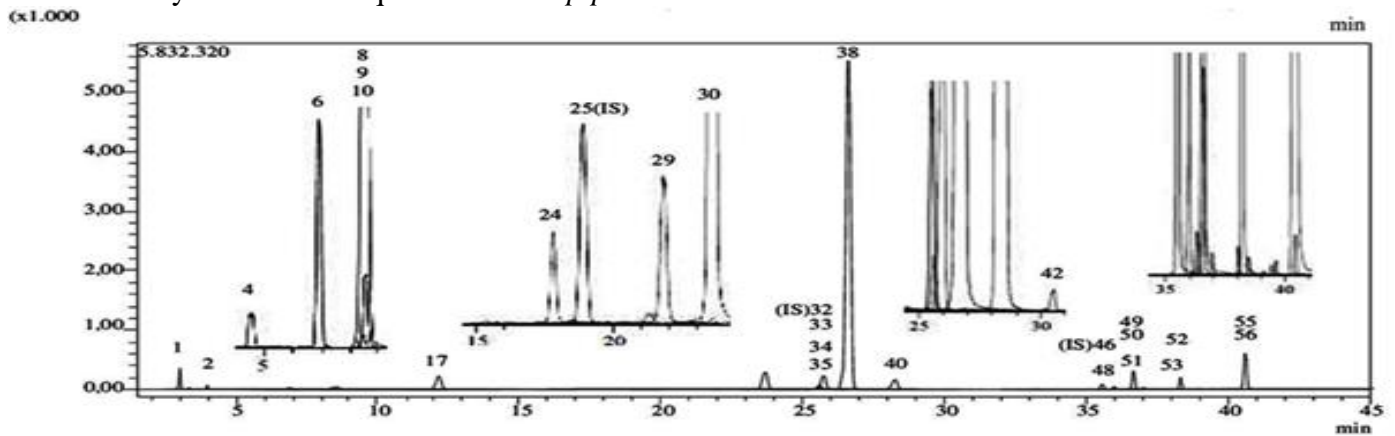
Annexe 4

Chromatogrammes de l'analyse par LC-MS/MS
des principaux composés phénoliques des extraits de *Mentha piperita* L.

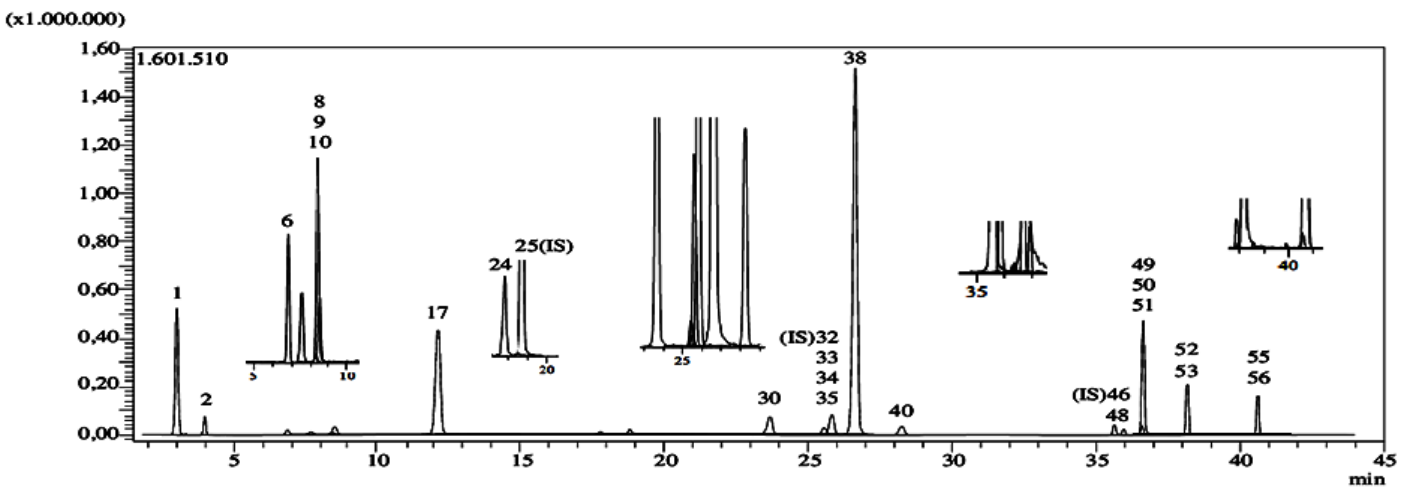
- Extrait hydro-éthanolique de *Mentha piperita* L.



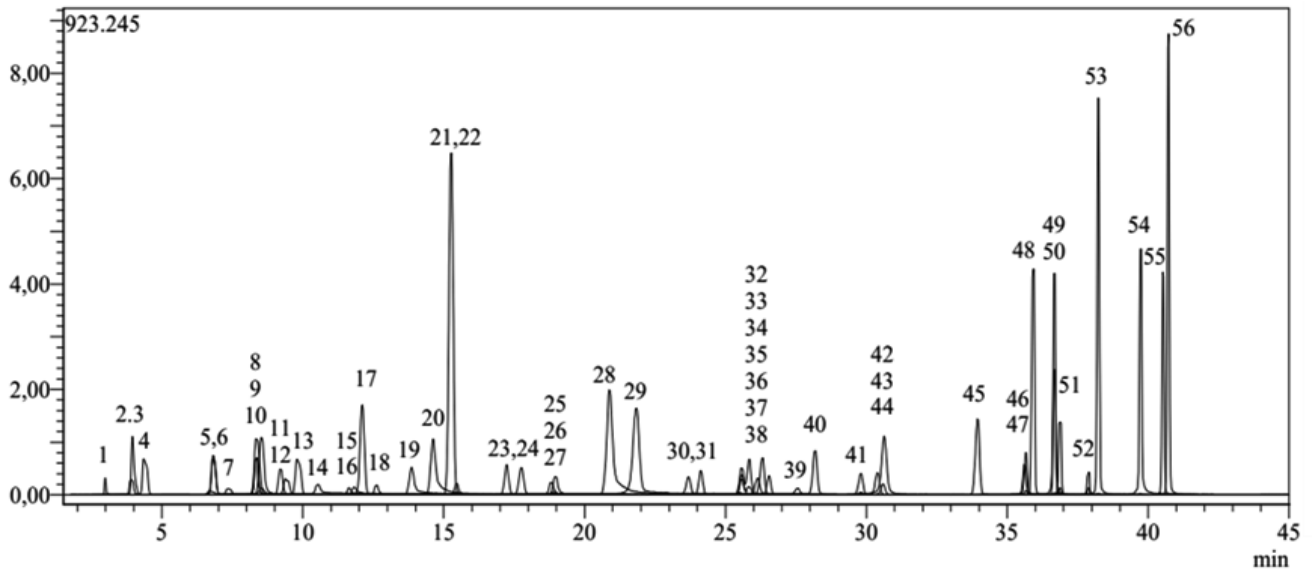
Extrait hydro-méthanolique de *Mentha piperita* L.



- Extrait aqueux de *Mentha piperita* L.



- **Composés phénoliques standards.**

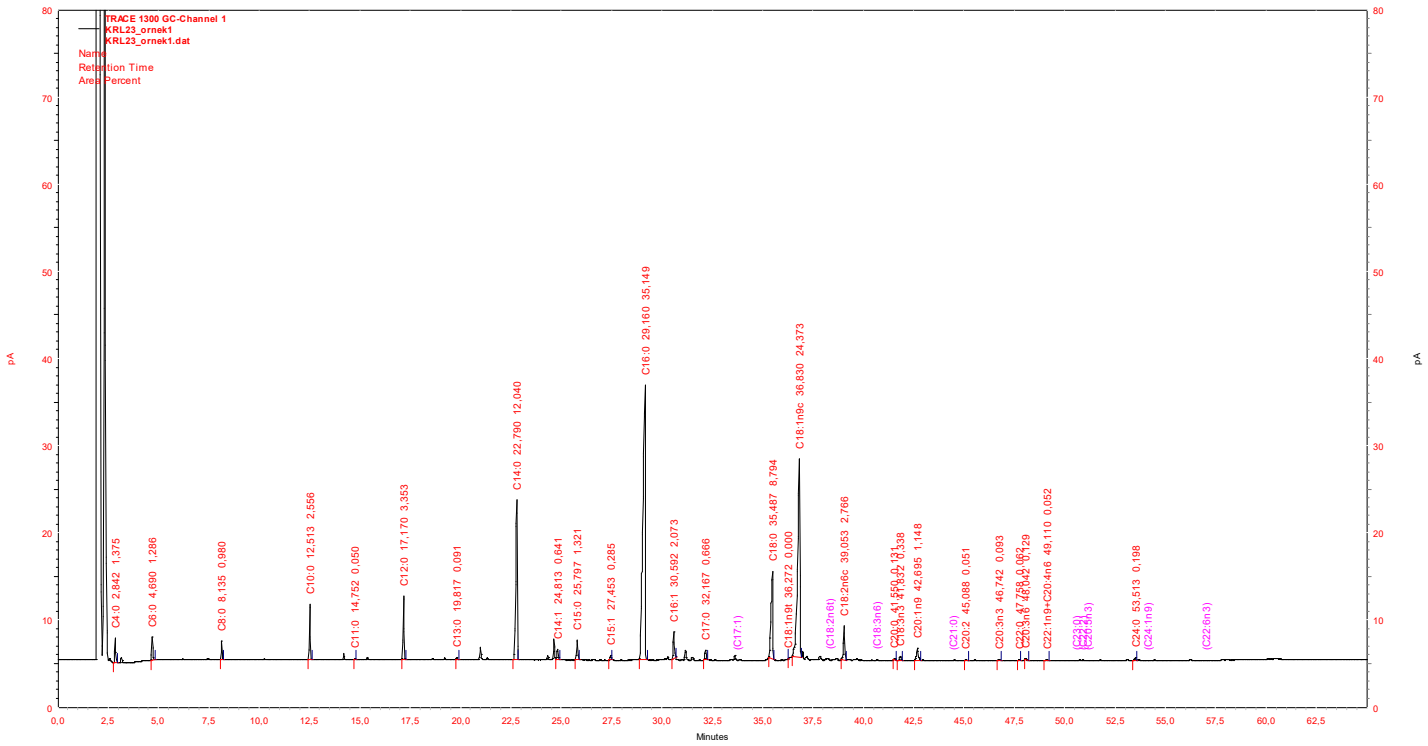


Les composés standards utilisés et/ou détectés dans les extraits analysés sont numérotés de 1 à 56 : (1 : acide quinique, 2 : acide fumarique, 3 : acide aconitique, 4 : acide gallique, 5 : épigallocatechine, 6 : acide protocatechique, 7 : catéchine, 8 : acide gentissique, 9 : acide chlorogénique, 10 : aldéhydes protocatechiques, 11 : acides phénoliques, 12 : acides phénoliques, 13 : acides phénoliques, 14 : acides phénoliques, 15 : acides phénoliques, 16 : acides phénoliques, 17 : acides phénoliques : Aldéhyde protocatechique, 18 : Aldéhyde protocatechique, 19 : Acide tannique, 20 : Gallate d'épigallocatechine, 21 : Cynarine, 22 : Acide 4 OH Benzoïque, 23 : Epicatechine, 24 : Acide vanilique, 25 : Acide caféique, 26 : Acide syringique, 27 : Vanilline, 28 : Aldéhyde syringique, 29 : Daidzine, 30 : Gallate d'epicatechine, 31 : Piceid, 32 : Acide p-Coumarique, 33 : Acide férulique-D3-IS, 34 : Acide férulique, 35 : Acide sinapique, 36 : Coumarine, 37 : Acide salicylique, 38 : Cyranoside, 39 : Miquelianine, 40 : Rutine-D3-IS, 41 : Rutine, 42 : isoquercitrine, 43 : Hespéridine, 44 : Acide O-Coumarique, 45 : Génistine, 46 : Acide rosmarinique, 47 : Acide ellagique, 48 : Cosmosiine, 49 : Quercitrine, 50 : Astragaline, 51 : Nicotiflorine, 52 : Fisétine, 53 : Daidzéine, 54 : Quercétine-D3-IS, 55 : Quercétine, 56 : Naringénine, 57 : Hespérétine, 58 : Lutéoline, 59 : Génistéine, 60 : Kaempférol, 61 : Apigénine, 62 : Amentoflavone, 63 : Chrysine, 64 : Acétine).

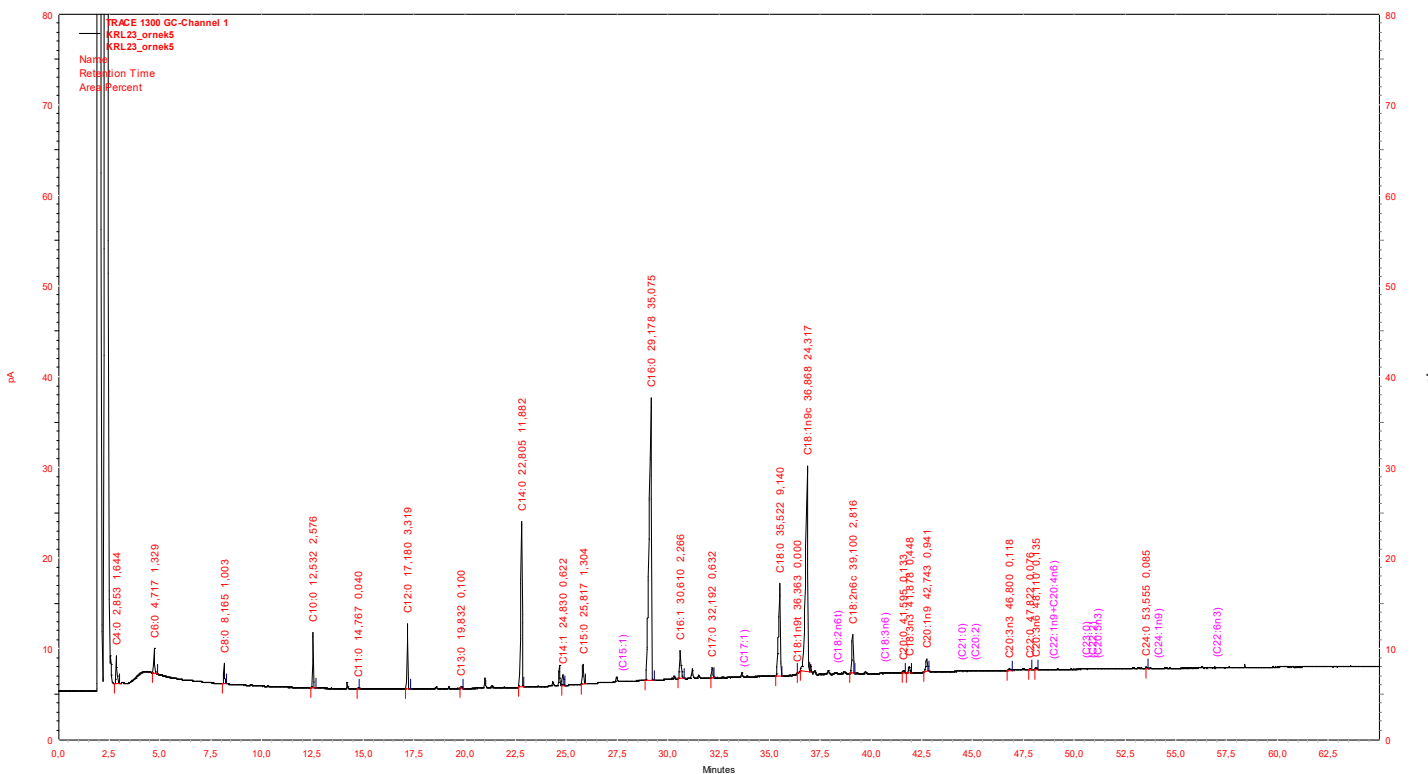
Annexe 5

Chromatogrammes de l'analyse par CPG-FID du Profil des acides gras de la matière grasse des yaourts expérimentaux.

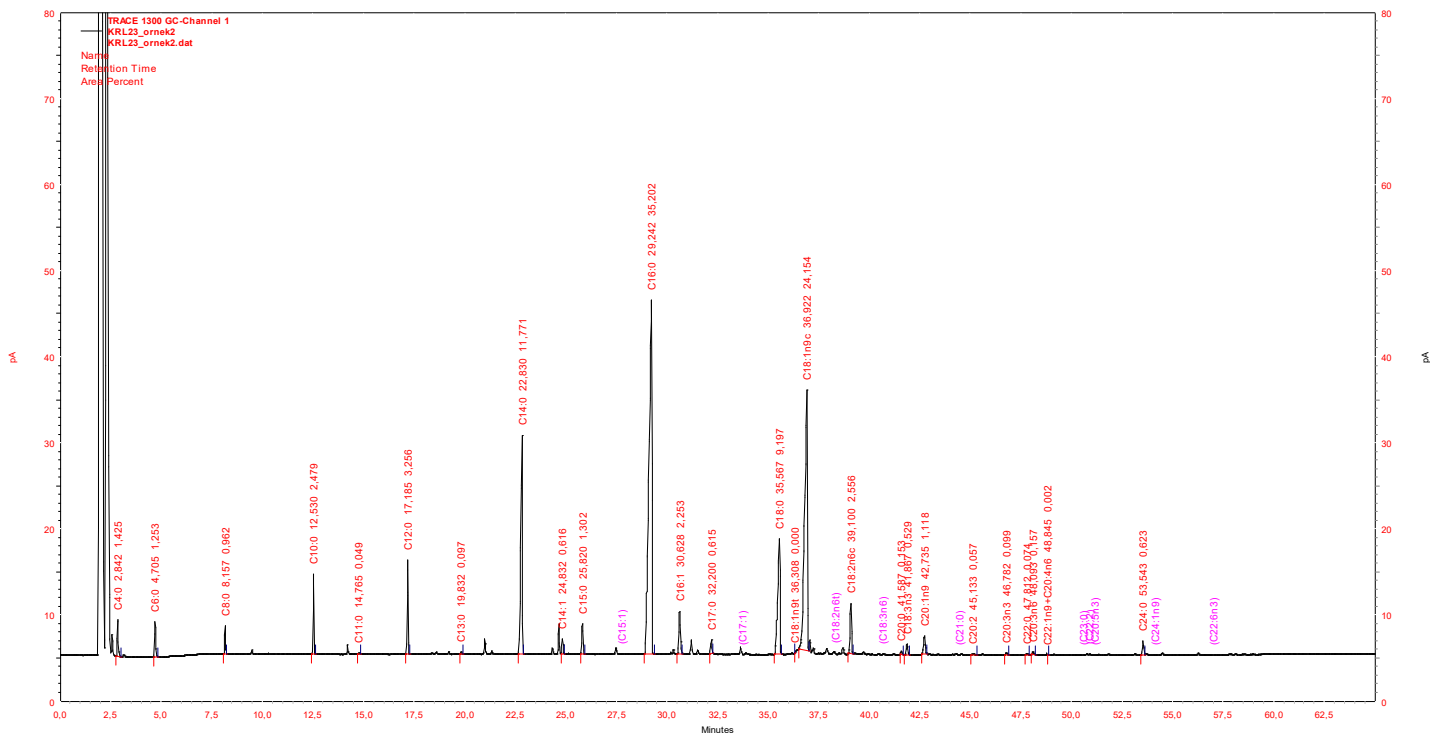
- Profil lipidique du yaourt témoin au 1^{er} jour de stockage à 6°C.



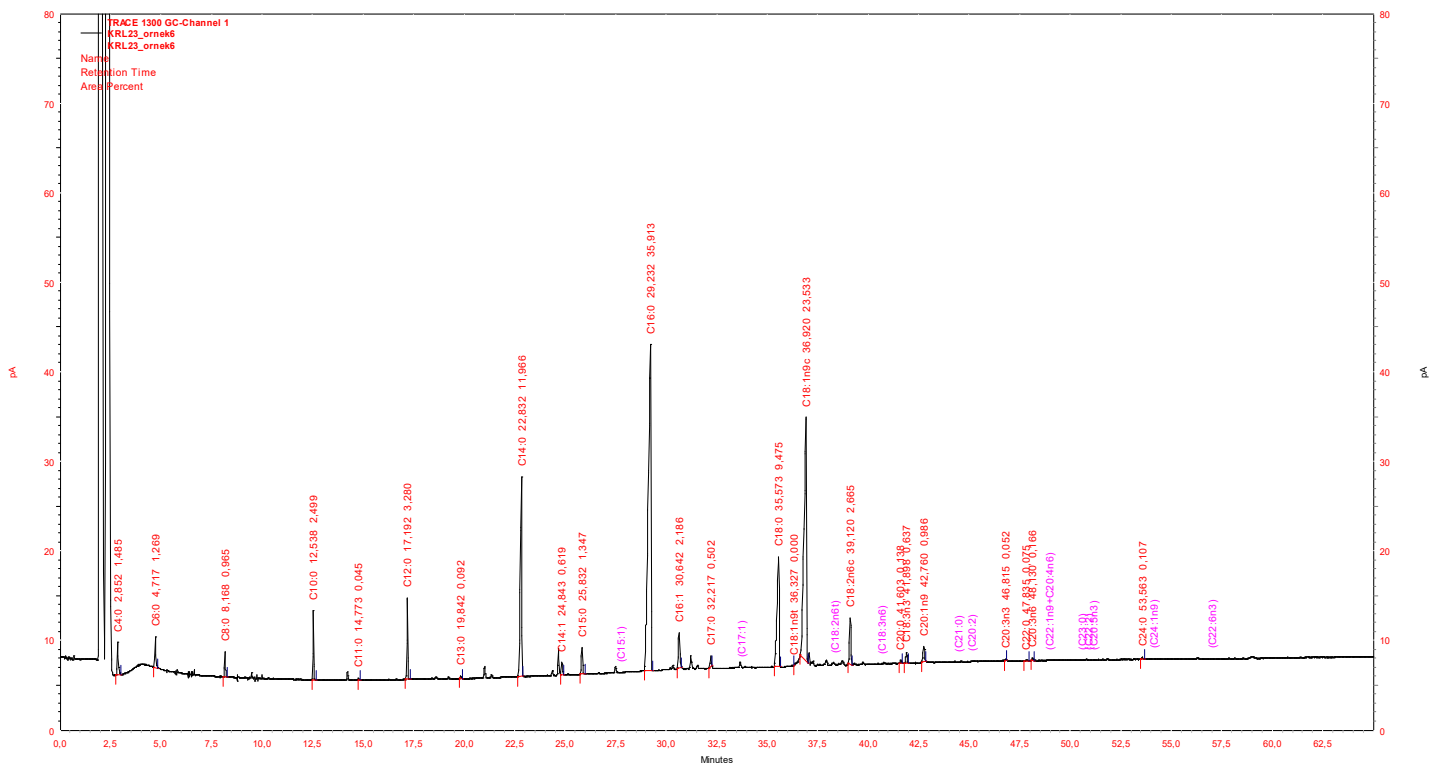
- Profil lipidique du yaourt témoin au 20^{ème} jour de stockage à 6°C.



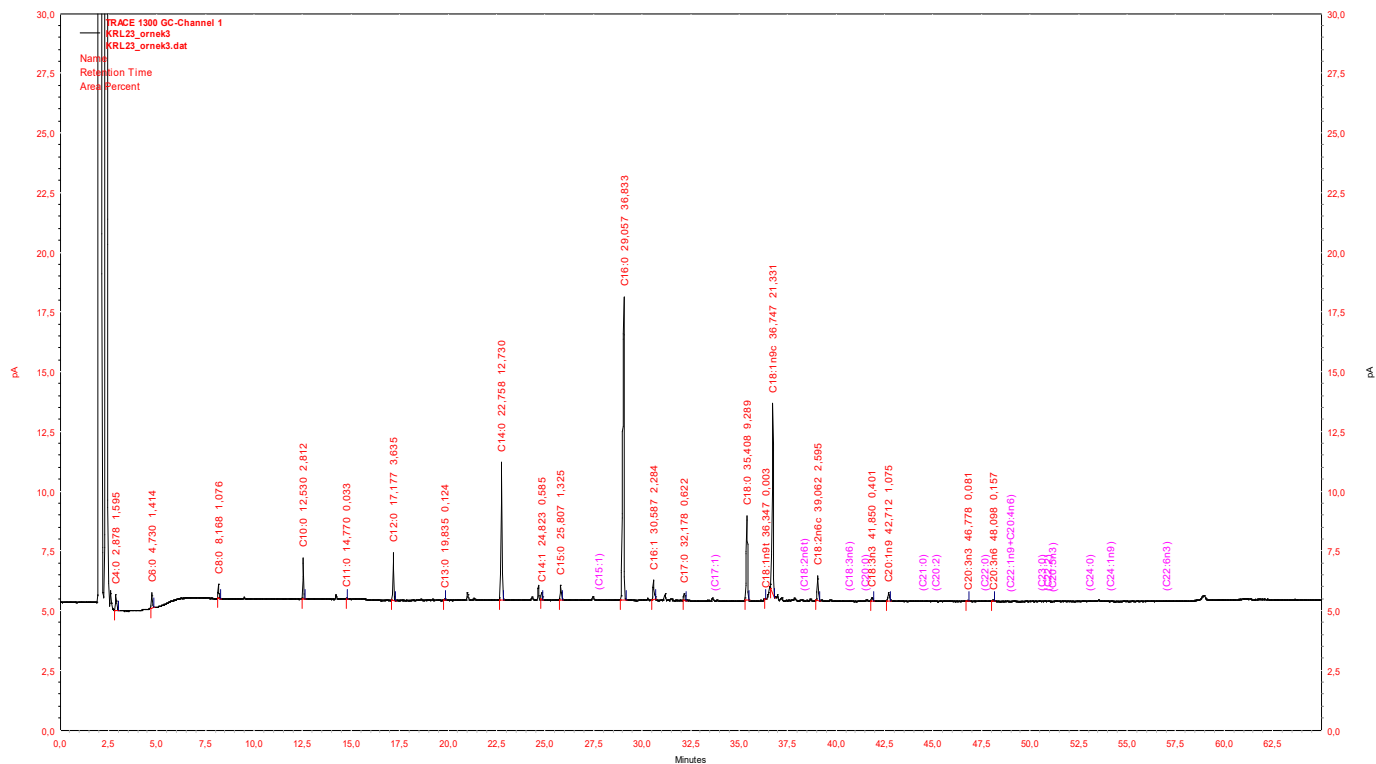
- Profil lipidique du yaourt additionné de 4% d'extrait hydro-éthanolique de *Mentha piperita* L. au 1^{er} jour de stockage à 6°C.**



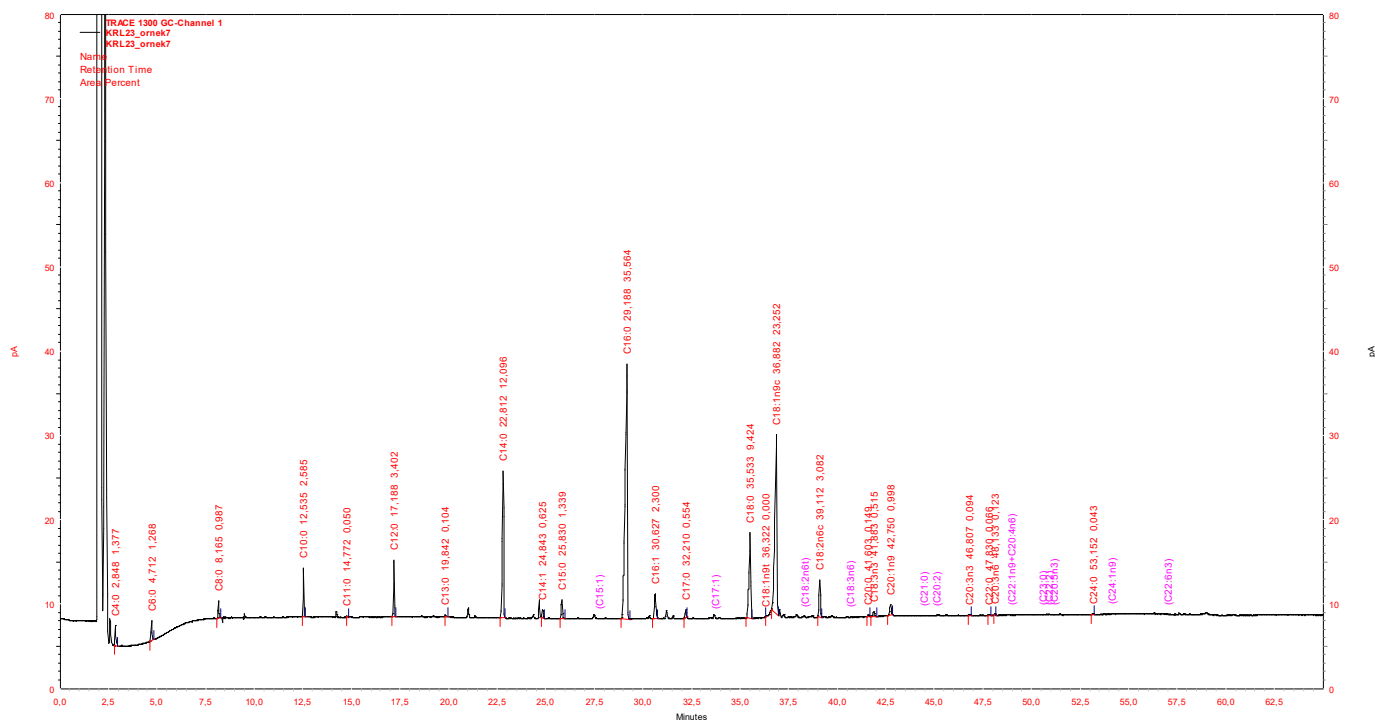
- Profil lipidique du yaourt additionné de 4% d'extrait hydroéthanolique de *Mentha piperita* L. au 20^{ème} jour de stockage à 6°C.**



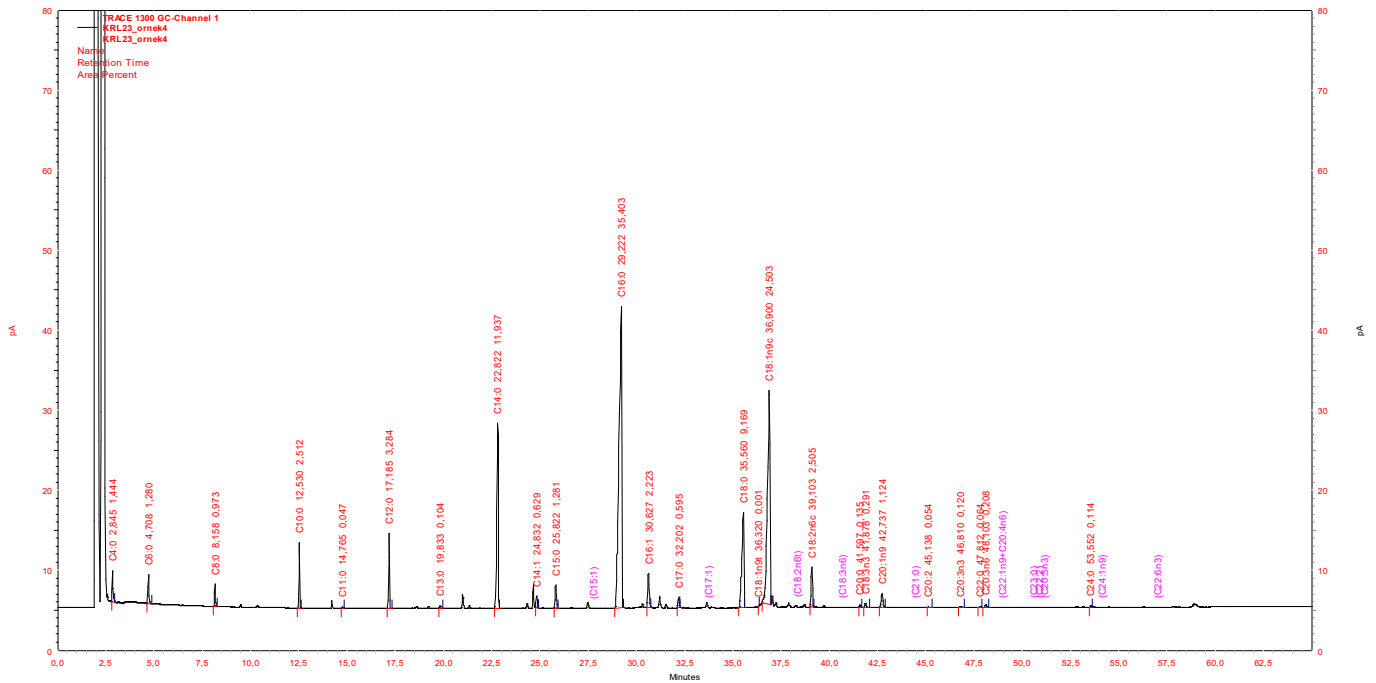
- Profil lipidique du yaourt additionné de 4% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. au 1^{er} jour de stockage à 6°C.



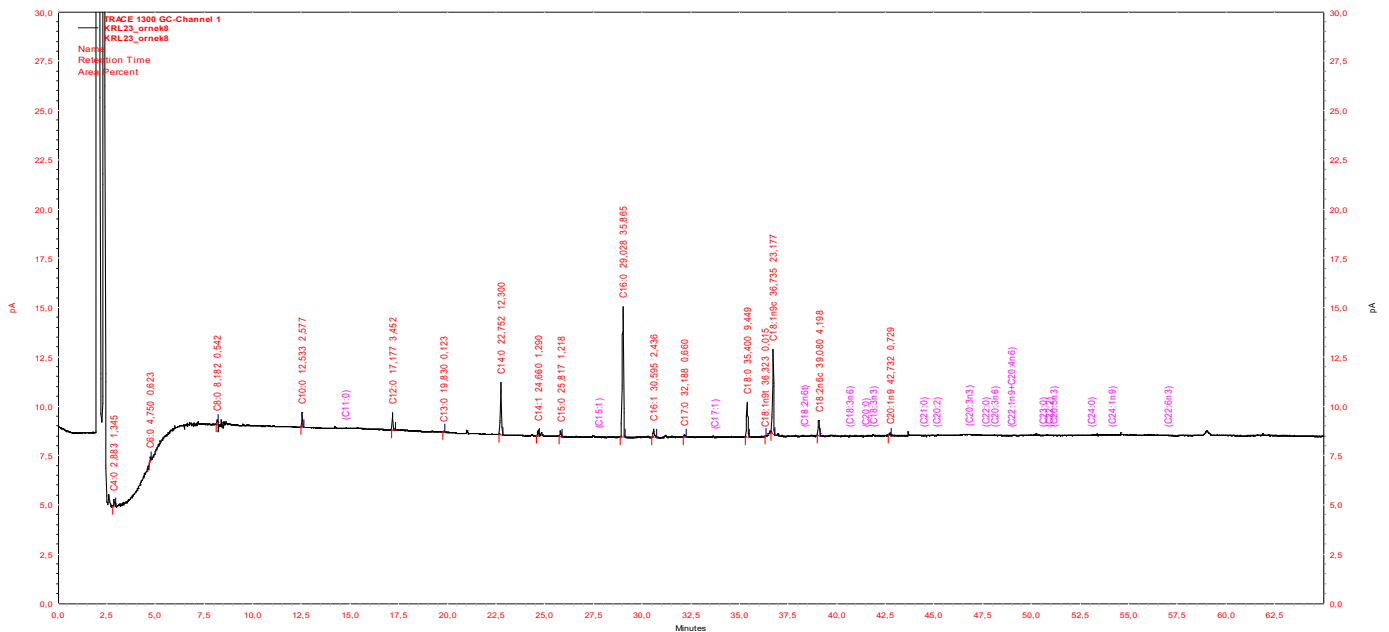
- Profil lipidique du yaourt additionné de 4% d'extrait hydrométhanolique de *Mentha piperita* L. au 20^{ème} jour de stockage à 6°C.



- Profil lipidique du yaourt additionné de 4% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. au 1^{er} jour de stockage à 6°C.



- Profil lipidique du yaourt additionné de 4% d'extrait aqueux de *Mentha piperita* L. au 20^{ème} jour de stockage à 6°C.



Les acides gras détectés en majorité dans les différentes fractions lipidiques des yaourts sont comme suit : C4:0 (acide butyrique) ; C6:0 (acide caproïque) ; C8:0 (acide caprylique) ; C10:0 (acide caprique) ; C11:0 (acide undécanoïque) ; C12:0 (acide laurique) ; C13:0 (acide tridécanoïque) ; C14:0 (acide myristique) ; C14:1 (acide myristoléique) ; C15:0 (acide pentadécanoïque) ; C16:0 (acide palmitique) ; C16:1 (acide palmitoléique) ; C17:0 (acide heptadécanoïque) ; C18:1n9c (acide oléique) ; C18:2n6c (acide linoléique) ; C20:0 (acide arachidique) ; C18:3n3 (acide α -linoléique) ; C20:1n9 (acide cis-11-ecosénoïque) ; C20:2 (acide cis-11,14-ecosadiénoïque) ; C20:3n3 (acide cis-11,14,17-ecosatriénoïque) ; C22:0 (acide béhénique) ; C20:3n6 (Acide cis-8,11,14-Eicosatriénoïque) ; C24:0 (Acide lignocérique).

Annexe 6

Fiche technique d'évaluation sensorielle des Yaourts

Panéliste N° :

Nom et prénom:

Sexe :

Age :

Fonction:

Critères organoleptiques	Echan. 1	Echan. 2	Echan. 3	Echan. 4
Gout acide				
Gout de fraîcheur				
Cohésivité				
Adhésivité				
Odeur				
Arrière gout				
Couleur				

Chaque panéliste est invité à analyser les produits proposés en les évaluant sur différents critères selon une échelle de notation variable de 1 à 10 :

- 1, 2: Mauvais (e)
- 3, 4, 5: Bon (Bonne)
- 6, 7, 8: Très bon (bonne)
- 9 et 10: Excellent (Excellente) · 3, 4, 5: Bon (Bonne).

Test organoleptiques

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

- **Gout acide** : Consiste à apprécier l'ampleur de l'acidité développée par les germes lactiquesensemencées dans les laits fermentés type yaourt au cours de l'entreposage.
- **Gout de fraîcheur** : Consiste à apprécier l'ampleur de la sensation de fraîcheur lors de la consommation du produit.
- **Cohésivité** : Consiste à déterminer la capacité maximale de déformation de l'échantillon avant de se rompre lorsqu'il est écrasé entre les doigts.
- **Adhésivité** : Exprime l'intensité des forces inter faciales développées entre la surface d'une cuillère et celle de l'échantillon lors d'une prise de produit.
- **Odeur** : Le panéliste est appelé à apprécié la sensation d'odeur désagréable des produits conservés au froid à 4°C.
- **Arrière-goût** : Le panéliste est appelé à apprécier la sensation de l'arrière gout amère dans les produits présentés.
- **Couleur** : Consiste à apprécier le niveau d'acceptabilité de la couleur des produits par les consommateurs.