

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire Ministre de
l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun_ Tiaret
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Filière : Science Biologiques

Spécialité : Biologie Moléculaire et Cellulaire



Présenté par :

❖ ABDI Nour Elhouda Amina

❖ AMAR IKram

❖ AZZOUZ Halima

Thème :

**Caractérisation physico-chimique et évaluation de
l'activité anti oxydante du lactosérum**

❖ Soutenu publiquement le :

Members de jury :

Présidente : Mr. METTAI. K

Promoteur : Mr. ACEM Kamel

Examineur : Mm. TAIBI. ASMAA

Garde :

MCB

Pr

MCA

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous profitons de l'occasion de la présentation de ce mémoire pour exprimer nous haute gratitude à الله de ce qu'il a été crédité ,et atteint aujourd'hui et pour nous avoir donnés le courage et la patience durant ce travail.

*Nous tenons en premier lieu à exprimer nos sincères remerciements à notre encadreur **Mr ACEM KAMEL** chargé de cours à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université **IBN KHALDOUN** de Tiaret ,pour avoir toujours eu confiance et pour son soutien et dirigé ce travail , pour son aide , ses précieux conseils ,sa compréhension et son soutien moral lors de la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements aux membres de jury , la président **Mr.METTAI. K** et l'examinatrice **Mm.TAIBI. ASMAA** pour avoir accepté d'examiner notre travail et d'assister à notre soutenance.*

*On remercie également Toute l'équipe pédagogique de la faculté **SNV** en général et de département de la biologie moléculaires et cellulaires.*

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DÉDICACE

Nous sommes arrivés au terme de notre voyage dans ce rêve. Nous sommes arrivés au terme de notre première vie universitaire, au cours de laquelle nous avons traversé de nombreuses situations et circonstances, certaines bonnes et d'autres mauvaises, au cours desquelles nous avons appris à connaître nos frères bien-aimés et nos amis fidèles. Mes remerciements et ma gratitude à tous ceux qui m'ont soutenu à ce stade, mon cher père, ma mère affectueuse, et tous ceux qui ont un droit sur moi, et mes remerciements à mon Seigneur en premier lieu pour m'avoir béni avec ce grand succès. Je dédie cet accomplissement à ma mère bien-aimée et à mon père bien-aimé, et cet accomplissement est petit devant eux pour tout le soutien moral et matériel qu'ils m'ont donné, se tenant à mes côtés et fournissant ce qu'ils pouvaient de petit et de grand jusqu'à ce que je termine ce voyage difficile qui a duré de nombreuses années avec de nombreux obstacles, et je voudrais dédier cet accomplissement à mes frères et amis qui se sont tenus à mes côtés, que ce soit en m'encourageant ou en priant devant moi ou en mon absence, merci du fond du cœur, et tous les remerciements et la reconnaissance à mes honorables professeurs.

Nour Elhouda Amina

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail : Je dédie ce travail à mon très cher père Lhadj pour leur amour ,leur patience et leur encouragement avec toutes mon gratitude et mon amour.

A ma très cher mère Aïcha, qui est aidée et servi de guider par leur conseil et leur soutien moral, affectif et surtout financier.

Ce travail est dédié à mes sœurs: Najet et Sihem .A mes très chers enfants: Souhayb, Riyad, Farse, Fatima .

Et à mes proches :Kadda et Hamza. Et mes grands- pères: Mehidié, Nacer. Mes grandes mères: Yamina et Fafa.

Très chères familles Khacha : Mohamed, Houari, Hmida, Kassem, Badra, Leila, Halima, Tofaha, Nawal, Zoulikha ,Assma et Malika.

Très chères familles Amar: Boudali, Ben Ali, Mohamed, Lakhdar, Morad, Abd El Karime, Nacer, Kada,Mohamed, Oussama, Tahar, Massouda, Dalila, Howaria, Yamina, Zana, Meriem, Khadija, Souad, Houda , khalida ,Aïcha,oum djilali,Fafa, Chaimaa, Fatima et Halima.

Et encore à ma mère : Mama Odeh.

Et à nos voisins: moukhter et howaria.

Et à la famille ziani .

Et à mes meilleurs amis: Iman,Ahlam,Iman, Zana, fatima,Asma, Nsrine, wiaam,Howaria,Chaimaa,Mariya.

À mes collègues :Houda et Halima . À toute la promotion Master 2 2023/2024.

Ikram

DÉDICACE

Au terme de toutes ces années d'études, je dédie ce modeste travail en signe de respect et de remerciement : A ceux qu'ont donné un sens à mon existence , qui m'ont soutenu nuits et jours durant tout mon parcours . A vous très chers parents je vous dis merci . A mon cher Mari ; qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles. Je dédie aussi ce travail à mon frère et soeurs ,ma famille, mes amies , sans oublier tout les professeurs que ce soit du primaire , du moyen du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

Halima

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

Sommaire

Introduction	1
--------------------	---

Partie bibliographique

Chapitre I. Lactosérum

I.1. Définition de lactosérum	5
I.2. Types de lactosérum	6
I.2.1. Lactosérums doux	6
I.2.2. Lactosérums acide	6
I.3. Composition chimique du lactosérum	7
I.3.1. Eau	7
I.3.2. Lactose	7
I.3.3. Minéraux	8
I.3.4. Vitamines	8
I.3.5. Matières grasses	8
I.3.6. Protéines du lactosérum	9
I.4. Source industrielle du lactosérum	11
I.5. Valorisation du lactosérum	11
I.5.1. Effet polluant du lactosérum	11
I.5.1.1. Sa demande chimique en oxygène (DCO) et sa demande biologique (DBO)	
élevé	12
I.5.2. Intérêt de valorisation du lactosérum	12
I.5.2.1. Intérêt écologique	12
I.5.2.2. Intérêt économique	12
I.5.3. Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles du lactosérum	13
I.6. Domaines d'utilisation du lactosérum	13
I.6.1. Alimentation animale	13
I.6.2. Alimentation humaine	13
I.6.2.1. Industrie laitière	13
I.6.2.2. En boulangerie	13
I.6.2.3. Dans les boissons	14

I.6.2.4. En confiserie.....	14
I.6.2.5. Dans les crèmes glacées.....	14
I.6.2.6. Substrat de fermentation	14

Chapitre II. L'activité antioxydante

II.1. Stress oxydatif	16
II.2. Activité antioxydante.....	16
II.3. Radicaux libres	16
II.4. Mécanisme de production et d'élimination des dans l'organisme	17
II.5. Anti oxydants	18
II.5.1. Classification des antio xydants.....	19
II.5.1.1. Anti oxydants à activité enzymatique	19
II.5.1.2. Anti oxydants à activité non enzymatique.....	19
II.5.1.3. Anti oxydants d'origine naturelle	19
II.5.1.4. Anti oxydants d'origine synthétique	19
II.5.2. Mécanisme d'action des anti oxydants.....	20

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériel Et Méthodes

1. Lieu de travail	23
2. Objectifs	23
3. Matériel et produits utilisés	23
3.1. Matières premières utilisés.....	23
3.1.1. Lactosérums.....	23
3.1.2 Présure.....	23
3.2. Appareillage	23
3.3. Verrerie	24
3.4. Produits utilisées.....	24
4. Protocole expérimental.....	25
5. Préparation du lactosérum	26
5.1. Lactosérum acide.....	26
5.2. Lactosérum doux	26
5.3. Préparation de présure	27
6. Méthodes des analyses physico-chimiques	27
6.1. Densité	27
6.2. Viscosité.....	28
6.3. Degré de Brix	29

6.4. Indice de réfraction	29
6.5. Cendres	30
6.6. pH	31
6.7. Acidité titrable des lactosérums	32
6.8. Conductivité électrique	33
6.9. Détermination de la teneur en lactose par la méthode de (DUBOIS et al, 1956)	33
6.10. Dosage des protéines par la méthode de (LOWRY et al, 1951).....	34
6.11.Détermination de la matière sèche.....	35
7. Activité antioxydante	35
7.1. Test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)	35
7.2. Protocole du test au DPPH.....	36
7.3. Evaluation de la concentration inhibitrice CI50.....	38

Chapitre IV :

Résultats Et Discussion

I.Caractérisation.....	40
I.1. Densité	40
I.2. Viscosité	40
I.3. Acidité	40
I.4. pH.....	41
I.5. Conductivité électrique	41
I.6. Indice de réfraction	41
I.7. Degré Brix	41
I.8. Cendres.....	41
I.9. Protéines	41
I.10. Lactose	42
II. L'activité anti oxydante	42
III. Evaluation de concentration inhibitrice médiane.....	46
Conclusion.....	49
Références Bibliographiques.....	51
Annexes	
Résumé	

Liste des abréviation

A : acidité.

AAR% : Pourcentage de l'activité anti-radicalaire.

AFNOR : Association française de normalisation.

BSA : Sérum Albumine Bovine.

BHA : Butylated hydroxyanisole.

BHT : Butylated hydroxytoluene.

°C : Degrees Celsius.

CAT : Catalase.

CI50 : Concentration inhibitrice médiane.

cP : Centipoise.

CE : Conductifité électrique.

°D : Degré Dornic.

D : Densité.

DCO : Demande chimique en oxygène.

DBO : Demande biologique en Oxygène.

DPPH : 1,1- diphenyl-2-picryl hydrazyl.

ERO : Espèces réactives de l'oxygène.

FAO : Organisation des nations unis pour l'alimentation et agriculture.

Hcl : Acide chlorhydrique.

H₂SO₄ : Acide sulfurique.

HMF : Hydroxy-méthyl furfural.

K : Constante d'étalonnage.

LSA : Lactosérum acide.

LSD : Lactosérum doux.

MG : Matière grasse.

mS/cm : Milli siemens par centimètre.

MS : Matière sèche.

m : Masse.

NaOH : Hydroxyde de sodium.

P : Poids.

R² : Coefficient de corrélation.

T : Temps.

Tc : Teneur en cendres.

Vs : Viscosité.

V : Volume.

α-La : α-lactalbumine.

B-Lg : β-Lactoglobuline.

Liste des figures

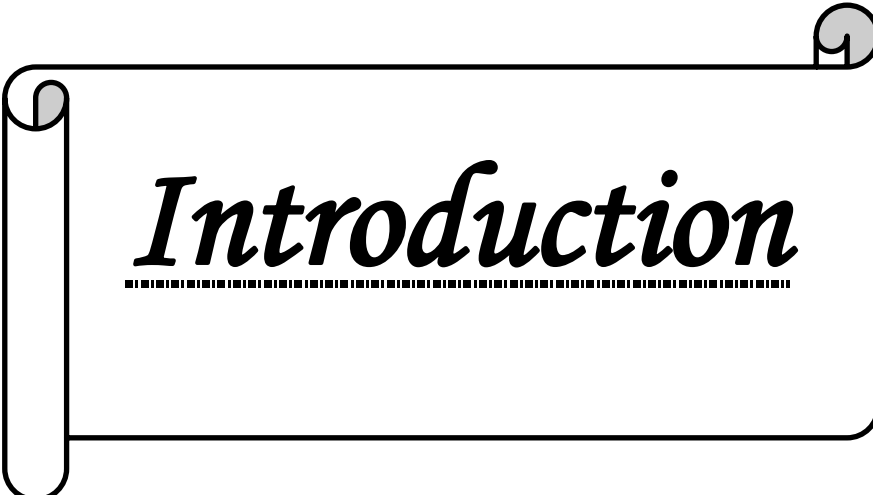
Figure 1: Lactosérum liquide de couleur jaune verdâtre (photo originale).....	5
Figure 2: Passage de l'état stable au radical libre et sa stabilisation de nouveau	17
Figure 3: Réaction du DPPH avec une molécule donneuse de proton.....	19
Figure 4: Action des antioxydants sur les radicaux libres.....	20
Figure 5: Protocole expérimental.	25
Figure 6: Lactosérum acide.	26
Figure 7: Lactosérum doux.....	27
Figure 8: Pycnomètre.....	28
Figure 9: Réfractomètre.	30
Figure 10: Capsule.	31
Figure 11: pH mtre.....	32
Figure 12: Conductivité électrique	33
Figure 13: Structure chimique du radical libre DPPH.	36
Figure 14: Vitamine C.....	36
Figure 15: DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl).....	37
Figure 16: Dilution du lactosérum par DPPH.	38
Figure 17: Activité anti oxydante du vitamine c , lactosérum acide , caséine acide et le lait.	43
Figure 18: Activité anti oxydante du vitamine c , lactosérum doux , caséine présure et le lait.	45
Figure 19: Valeurs de concentration inhibitrice médiane CI 50.....	46

Liste des tableaux

Tableau 1: Les différents types du lactosérum	6
Tableau 2: Composition moyenne des deux types du lactosérum (doux et acide)	7
Tableau 3: Teneur en vitamines dans le lactosérum	8
Tableau 4: Les propriétés et les fonctions biologiques des protéines du lactosérum.	9
Tableau 5: Acides aminés essentiels (g/100g).	10
Tableau 6: Exemples des pathologies liées au stress oxydatif	16
Tableau 7: Principaux radicaux libres	17
Tableau 8: Principaux antioxydants non enzymatiques et sources alimentaires associées.	20
Tableau 9: Paramètre physico-chimiques moyens des lactosérums bruts étudiés.	40
Tableau 10: Valeurs de concentration inhibitrice médiane CI 50 des solutions étudiés. ...	44

Annexes

Annexe 01 : paramètres physico-chimiques du lactosérum brut_	55
Annexe 02: Expression des résultats pour le dosage du lactose	40
Annexe 03: Expression des résultats pour le dosage des protéines par la méthode de	57
Annexe 04: Prise des photos pour les lactosérums (acide ,doux)	57



Introduction

Introduction

Le lactosérum, aussi connu sous le nom de petit-lait, est un résidu de la production de fromage et de caséine. La production de ces produits laitiers implique la coagulation et l'égouttage du lait (**Walstra et al, 2005**).

Le lactosérum est principalement constitué d'eau (93%), de lactose (4-5%), de protéines solubles (0,6-1%), de matières minérales (0,5-0,8%) et de résidus de vitamines et de lipides (**Smithers, 2008**). La β -lactoglobuline et l' α -lactalbumine sont les principales protéines présentes, représentant respectivement 50 % et 20 % des protéines totales du lactosérum (**Philips et al, 1994**).

Le lactosérum est largement utilisé dans le domaine de l'alimentation, en particulier dans la production de laitages, de boissons, de produits de boulangerie et de préparations pour les nourrissons. En raison de ses caractéristiques fonctionnelles (gélification, émulsification, moussage), il est également très couramment employé (**Huffman, 1996**). Malgré ses nombreux bénéfices fonctionnels et nutritionnels, il peut également avoir des conséquences potentiellement polluantes si il n'est pas traité ou éliminé de manière adéquate (**Prazeres et al, 2012**). Voici certains de ces conséquences éventuelles :

La pollution de l'eau entraîne l'eutrophisation, l'acidification des sols et les émissions de gaz à effet de serre. L'industrie laitière doit mettre en œuvre des systèmes de traitement et d'élimination adaptés du lactosérum, tels que le traitement biologique, l'épandage contrôlé ou la valorisation de ce sous-produit, afin de réduire ces effets. (**Vourch et al, 2008**).

La capacité d'une molécule à inhiber ou à retarder l'oxydation d'autres molécules est connue sous le nom d'activité antioxydante. Il est crucial d'avoir cette caractéristique afin de préserver les cellules des effets néfastes des radicaux libres, qui peuvent endommager les lipides, les protéines et l'ADN (**Apak et al, 2008**) (**Prior et Schaich, 2005**).

Différents mécanismes sont utilisés par les antioxydants, tels que la captation des radicaux libres, la chélation des métaux pro-oxydants, l'inhibition des enzymes pro-oxydantes et la stimulation de l'expression des enzymes antioxydantes endogènes (**Bouayed et Bohn, 2010**).

Introduction

Leur structure chimique est à l'origine de leur activité antioxydante, notamment la présence de groupements hydroxyles et de noyaux aromatiques qui leur permettent de neutraliser les espèces réactives et les radicaux libres (**Lobo et al, 2010**).

Notre objectif dans cette étude est de connaître les propriétés physiques et chimiques du lactosérum et d'évaluer son activité antioxydante.

Partie
Bibliographique

Chapitre I

Le lactosérum

I.1. Définition de lactosérum

Le lactosérum est un liquide jaune verdâtre qui renferme une quantité significative de protéines de lait, environ 20%, et qui est riche en nutriments (**Muller et al. 2003**).

Le lactosérum est extrêmement susceptible de fermenter et fragile. Le volume de lait utilisé est de 85 à 90% (**Guimarães et al, 2010; Lapointe-Vignola, 2002**).

Il s'agit d'un produit issu de la fromagerie et de la caséinerie, avec un pH variant de 5 à 6,5. Il constitue environ 90% du lait utilisé (**Kosikowski, 1979 ; Mereo, 1980**).

On obtient cela en coagulant les caséines avec de la présure (lactosérum doux). ou après que le lait soit acidifié (lactosérum acide) (**Morr, 1989**).

De manière traditionnelle, la prochaine étape après la coagulation implique la séparation de la phase coagulée du reste du lait lors d'une procédure d'égouttage. Il renferme environ 50 % des nutriments du lait de base : des protéines solubles, du lactose, des vitamines et des minéraux. (**Guimarães et al, 2010**) et (**Lapointe-Vignola, 2002**).



Figure 1: Lactosérum liquide de couleur jaune verdâtre (photo originale).

I.2. Types de lactosérum

Il est préférable de considérer le lactosérum comme un produit dérivé plutôt que comme un sous-produit de la production de fromages ou de caséine. En fonction de son acidité et de son pH, on peut classer le lactosérum en deux catégories : le lactosérum doux et le lactosérum acide (Tableau 1) (**Linden et Lorient, 1994**).

Tableau 1: Les différentes types du lactosérum (**Adrian et al, 1991**).

Degré d'acidité	Type	pH
<22° D	Lactosérum doux	6,5 ± 6,7
<120° D	Lactosérum acide	4,5 – 5,5

I.2.1. Lactosérums doux

Son acidité oscille entre 15 et 22 ° Dornic ($\text{pH} \approx 6,5$), principalement provenant de la fabrication de fromages à pâtes pressées cuites ou non (emmental, saint-paulin, edam), généralement utilisés à l'état déshydraté (**Moletta, 2002**). On obtient cela suite à la coagulation de la l'action de la présure sur la caséine sans acidification préalable donne un sérum doux, avec une faible quantité de sels minéraux et une grande quantité de lactose et de protéines. Ce lactosérum, en plus des protéines solubles du lait, contient une glycoprotéine issue de l'hydrolyse de la caséine Kappa par la présure (**Sottiez, 1990 ; De La Fuente et al, 2002**). (Tableau 1).

I.2.2. Lactosérums acide

Ils atteignent une acidité de 120° Dornic ($\text{pH} \approx 4,5$) et proviennent de la fabrication de fromages à pâtes fraîches et molles ou de la caséine utilisée à l'état liquide. On obtient cela en coagulant le lait en précipitant les caséines à leurs niveaux (**Moletta, 2002**). pH-isoélectrique l'acide fort ou l'acide lactique ajoutés à la quantité de 4,6 (**Violeau, 1999**). L'acidification entraîne la dégradation des caséines associées à des sels de calcium, ce qui permet à une grande partie des minéraux, tels que le calcium et le phosphore, de pénétrer dans le sérum, ce qui explique sa forte teneur en ces minéraux et en acide lactique (**Sottiez, 1990**). (Tableau 1).

I.3. Composition chimique du lactosérum

La composition biochimique du lactosérum varie considérablement en fonction de la provenance du lait utilisé (alimentation et conditions d'élevage), de la spécialité fromagère dont il est issu et de la méthode de coagulation des caséines utilisé. La composition moyenne de lactosérum doux et acide est illustrée dans le tableau (**Boudier et al, 1976 ; François, 1990 ; Jouan, 2002**).

Tableau 2: Composition moyenne des deux types du lactosérum (doux et acide) (François, 1990 ; Jouan, 2002).

Composition moyenne d'un lactosérum doux et d'un lactosérum acide		
	Lactosérum dou	Lactosérum acide
Eau (%)	93,5	94
Extrait sec (%)	6,5	6
pH	6,7	4,6
Composition en g.L-1		
Lactose	76	74
Protéines	13,50	12,00
Cendres	8,00	12,00
Acide Lactique	<1,8	>1,8
Matière grasse	1	0,5
Calcium (%)	0,6	Jusqu'à 1,8-2
Phosphore (%)	0,6	1,50
Chlorure de sodium (%)	2,50	7,50

I.3.1. Eau

Le lactosérum est un matériau principalement composé d'une grande quantité d'eau présente dans le lait (**Boudier et al, 1976**). En moyenne, il renferme 94 % d'eau (**Morr et Ha, 1993**).

I.3.2. Lactose

Le lactose est la principale composante du lactosérum de fromagerie(**Luquet et François, 1990**) . Le lactose est un disaccharide qui se compose d'une molécule de glucose et d'une autre de galactose(**Gerard et Debry, 2001**). .

Ce dernier est un élément clé des cérébrosides qui constituent les tissus nerveux. Il joue un rôle dans la régulation du pH intestinal (**Visser et al, 1988**). Le lactosérum doux présente une teneur plus élevée en lactose par rapport aux lactosérums acides, car une partie du lactose a été convertie en acide lactique (**Sottiez, 1990**).

I.3.3. Minéraux

Le lactosérum contient une grande quantité de minéraux, en général entre 7 et 12 % des éléments secs du sérum composée essentiellement de calcium, de phosphore de potassium le sodium, le magnésium, le chlore, le fer... etc. (**Fick Michel, 2016**).

I.3.4. Vitamines

La plupart des vitamines présentes dans le lactosérum sont des vitamines hydrosolubles car la matière grasse a été presque complètement éliminée, ce qui entraîne l'apparition des vitamines liposolubles. Des quantités significatives de riboflavine (vitamine B2), d'acide pantothénique (vitamine B5); de thiamine (vitamine B1); de pyridoxine (vitamine B6) et d'acide ascorbique (vitamine C) sont présentes parmi les vitamines présentes. La riboflavine, qui confère sa teinte au lactosérum, constitue un obstacle à la production du lactose qu'elle colore : ses concentrations se situent entre 200 et 300 mg par gramme de lactose (Tableau 3), (**Paquin, 2004**).

Tableau 3: Teneur en vitamines dans le lactosérum (**Luquet et Boudier, 1984**).

Vitamine	Concentration (mg/ml)
Thiamine	0,38
Riboflavine	1,20
Acide nicotinique	0,85
Acide pantothénique	3,40
Pyridoxine	0,42
Cobalamine	0,03
Acide ascorbique	2,2

I.3.5. Matières grasses

Le lactosérum contient une quantité très faible de matière grasse (MG), estimée à 0,3 g pour 100 g de lactosérum liquide, car la quasi-totalité de la matière grasse du lait est

stockée dans le caillé. Le lactosérum est perçu comme un aliment dépourvu de graisse, ce qui en fait un choix parfait pour les individus qui pratiquent un régime de perte de poids (Vasey, 2006).

I.3.6. Protéines du lactosérum

Les composés chimiques du lactosérum malgré la présence d'une multitude de nutriments dans le lactosérum, ce sont les protéines sériques qui sont les plus importantes. Le tableau 4 illustre les caractéristiques physico-chimiques des protéines présentes dans le lactosérum. Cela est dû à leurs nombreuses caractéristiques biologiques et fonctionnelles. Les protéines de lactosérum sont considérées comme une source biologique exceptionnelle d'acides aminés branchés et d'acides aminés essentiels (Smithers, 2008).

De plus, elles possèdent une valeur biologique supérieure à celle de l'œuf, souvent utilisé comme référence. Des fractions et des hydrolysats spécifiques de protéines de lactosérum pourraient également être attribués des propriétés anticancéreuses, antimicrobiennes, antivirales et modulatrices du système immunitaire humain (Madureira et al, 2007).

Tableau 4: Les propriétés et les fonctions biologiques des protéines du lactosérum
(Alimoradi Foad, 2016; Papademas et Kotsaki, 2019).

Protéines du lactosérum	Teneur (%)	Concentration (g/l)	Point isoélectrique	Fonction et avantages
β-lactoglobuline (β-LG)	50-55	3,3	5,13	Source d'acide aminé essentiel et à chaîne ramifiée. Fixation du rétinol et des acides gras.
α-lactalbumine (α-LA)	20-25	0,7	4,2-4,5	Source d'acides aminés essentiels et à chaîne ramifiée, production de lactose, transport de calcium, immunomodulateur ; anti carcinogène.

Immunoglobulines	10-15	0,7	5,5-8,3	Inhibition de la fixation des agents pathogènes (chélate le fer), antimicrobien, activation de la phagocytose, anti-inflammatoire.
Lactoferine	1-2	0,1	8,81	Antioxydant, antibactérien, anticarcinogène, antiviral, antifongique, favorise la croissance des bactéries bénéfiques, supprime le développement des tumeurs .
Lactoperoxydase	0,50	0,03	7,7-9,6	Antibactérien et antioxydant.
BSA	5-10	0,3	4,7-4,9	Inhibe le développement des bactéries.
GMP	10-15	1	3,08-3,58	Antiviral, bifidogène

Les protéines ne constituent pas la partie la plus importante du lactosérum, mais elles présentent une importance économique et nutritionnelle supérieure aux protéines du blanc d'œuf, qui sont considérées comme des références. Leurs teneurs en acides aminés sont extrêmement élevées (**Sottiez, 1990**). Le tableau 5 présente les acides aminés présents dans le lactosérum et les caséines.

Tableau 5: Acides aminés essentiels (g/100g) (Moletta, 2002).

	Protéines du lactosérum	Caséines
Tryptophane	1,38	1,22
Lysine	10,9	8,81
Méthionine	1,95	3,07

Cystéine	1,35	0,57
Leucine	7,09	9,8
Isoleucine	4,06	4,8
Phénylalanine	3,47	5,18
Valine	5,54	3,55
Thréonine	5,03	4,7

I.4. Source industrielle du lactosérum

En général, le lactosérum est produit dans deux secteurs alimentaires distincts : la fromagerie et la beurrerie. La première se concentre sur la production de fromage à partir du lait mature, ce dernier subit une coagulation et une synérèse qui font naître deux phases hétérogènes, l'une solide "fromage" et l'autre liquide "lactosérum". Dans le domaine de la beurrerie, le "lactosérum" est produit après écrémage complet du lait, puis extraction de la caséine par précipitation (Laplanche, 2004).

I.5. Valorisation du lactosérum

Le lactosérum est l'élément le plus polluant issu de la production de fromage en raison de son taux élevé de matière organique, tout en offrant de nombreux avantages et intérêts. Ainsi, sa mise en valeur revêt une grande importance tant sur le plan économique que écologique. Grâce à cela, il est possible d'éviter les dommages environnementaux tout en réduisant les coûts de pollution imposés par la loi (Smithers, 2008 ; Brandelli et al, 2015).

La législation algérienne impose aux industries dont l'activité peut causer ou entraîner des dommages à l'environnement, telles que le lactosérum, de payer les frais de toutes les mesures de prévention et de réduction de la pollution « Le principe pollueur payeur » (Jorad, 2003)

I.5.1. Effet polluant du lactosérum

Dans le monde entier, notamment dans certains pays, le manque de valorisation du lactosérum, les problèmes de gestion des déchets industriels, les coûts élevés des technologies de valorisation et l'absence d'une réglementation rigoureuse font du lactosérum un facteur de pollution croissant et un problème environnemental majeur (Benaïssa, 2018).

I.5.1.1. Sa demande chimique en oxygène (DCO) et sa demande biologique (DBO) élevé

La DCO du lactosérum est de 100 000 mg d'O₂/l, tandis que la DBO peut varier entre 40 000 et 60 000 mg d'O₂/l (**Yorgun et al, 2008**). Cela entraîne une réduction du taux d'oxygène dissous et engendre des problèmes de toxicité et de modification des caractéristiques physicochimiques des écosystèmes aquatiques (**Valencia et al, 2009 et Cordoba, 2013**).

I.5.1.2. Ses volumes élevés générés

Les grandes quantités de lactosérum sont produites, ce qui en fait un polluant environnemental important. 10 L de lait contient 1 kg de fromage et environ 9 litres de lactosérum (**Essadaoui ,2012**). Effectivement, 47 % du lactosérum produit dans les cours d'eau et les rivières est rejeté par l'industrie fromagère (**Papademas et Kotsaki, 2019**). La production de fromage en Algérie est estimée à 1540 tonnes, ce qui représente une production d'environ 14 millions de litres de lactosérum la (**FAO, 2017**).

I.5.2. Intérêt de valorisation du lactosérum

La mise en valeur du lactosérum offre de nombreux bénéfices et intérêts, tant sur le plan écologique que sur le plan économique.

I.5.2.1. Intérêt écologique

Le déversement du lactosérum dans la nature a un impact sur la vie aquatique et réduit les rendements des cultures agricoles, ce qui signifie que sa récupération est bénéfique pour l'environnement. Parmi ces avantages, on mentionne :

- Amélioration des émissions considérables dans l'environnement.
- Minimisation de la pollution des eaux et des espaces verts.
- Préserver les ressources hydriques.
- Réduisant la consommation d'énergie.
- Diminuant l'utilisation des engrais chimiques (**Banu et al, 2020**).

I.5.2.2. Intérêt économique

Les produits alimentaires, pharmaceutiques et agricoles utilisent le lactosérum, ce qui diminue la demande d'importation de matières premières et crée de grandes opportunités économiques et de nouvelles opportunités pour l'industrie laitière (**Bardy et al, 2016**).

I.5.3. Propriétés nutritionnelles et fonctionnelles du lactosérum

Les deux principaux composants du lactosérum sont le lactose et les protéines, ce qui lui confère une valeur nutritionnelle significative et des propriétés fonctionnelles intéressantes telles que la gélification, l'émulsification, la stabilité thermique et l'hydratation, qui ont un impact sur la qualité finale des produits alimentaires (**Lupin, 1998**).

I.6. Domaines d'utilisation du lactosérum

Le lactosérum peut être utilisé par l'homme et les animaux dans diverses applications afin d'extraire et d'intégrer sa valeur nutritionnelle élevée dans diverses utilisations et produits.

I.6.1. Alimentation animale

Depuis longtemps, le lactosérum est principalement utilisé dans l'alimentation animale, ce qui permet aux éleveurs de porcs et de bovins d'engraisser ces derniers à moindre coût. Étant donné que les prix des céréales constituent une charge significative pour lui.

Dans ce domaine, l'emploi du lactosérum permet de mettre en valeur un sous-produit à haute valeur nutritionnelle et énergétique, tout en diminuant la pollution organique (**Fick Michel, 2016**).

I.6.2. Alimentation humaine

Le lactosérum est utilisé dans différents secteurs de l'industrie alimentaire : le lait, la boulangerie, la biscuiterie, la confiserie, les glaces et les crèmes glacées, comme substrat de fermentation et comme complément alimentaire.

I.6.2.1. Industrie laitière

Le lactosérum est utilisé dans la production de laits fermentés tels que le yaourt et le lben, sans altérer la qualité ni l'arôme de ces derniers (**Luquet et Boudier, 1984**).

I.6.2.2. En boulangerie

L'utilisation croissante du lactosérum doux dans les produits de boulangerie est motivée par de nombreux bénéfices qu'il offre :

- Il augmente la valeur nutritionnelle en fournissant une quantité significative d'acide aminé essentiel.
- La réaction du maillard contre le rancissement permet de créer des complexes stables.
- Élargit la saveur et l'odeur du pain (**Apria, 1980**).

I.6.2.3. Dans les boissons

Le lactosérum possède également plusieurs caractéristiques qui le rendent idéal pour la préparation de boissons aromatisées en raison de sa grande valeur nutritionnelle, ce qui facilite sa digestion et le rend rapide. Ces boissons sont légères, désaltérantes et très plaisantes à déguster (**Nelson et al, 1978**).

I.6.2.4. En confiserie

Le lactosérum est employé dans le domaine de la confiserie, car il est moins coûteux que le produit laitier utilisé. Son goût lacté sucré et sa teneur élevée en eau le distinguent (**Vrignaud, 1983**).

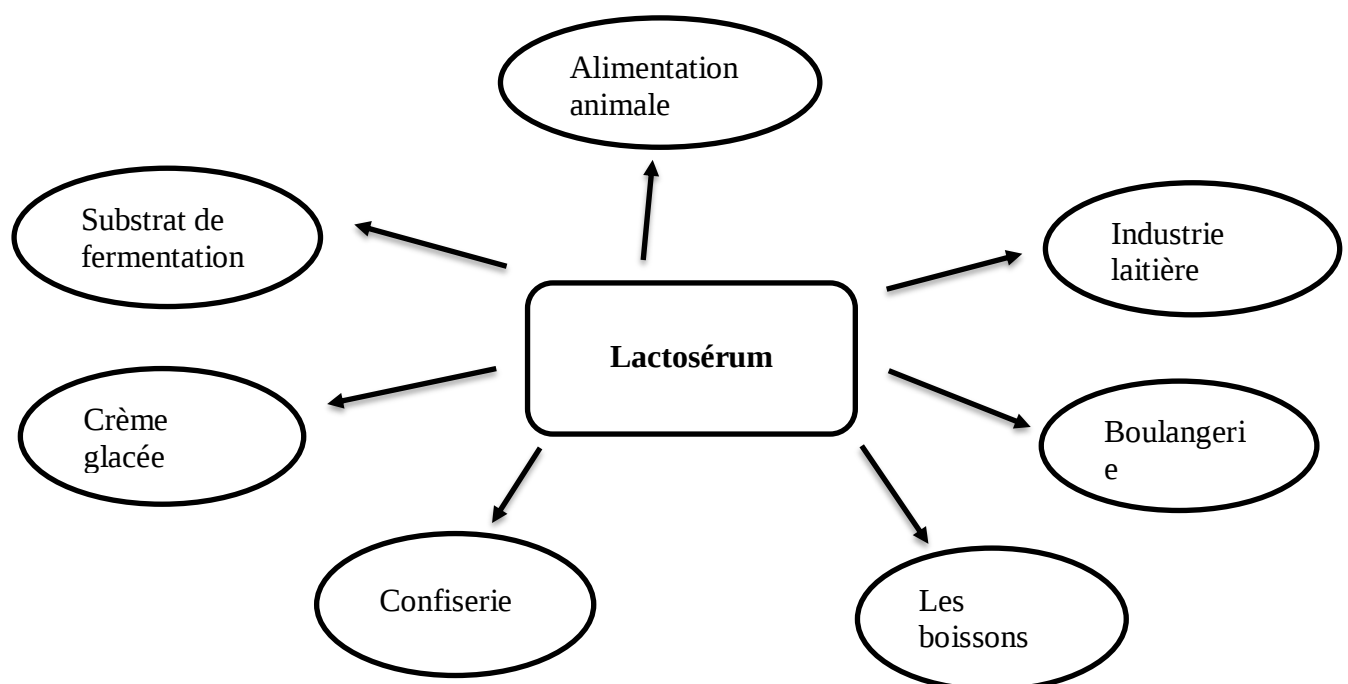
I.6.2.5. Dans les crèmes glacées

La poudre du lactosérum doux peut remplacer 25 % du lait écrémé utilisé dans la préparation de la crème glacée, tandis que le lactosérum acide peut remplacer une partie du sucre nécessaire à la fabrication des sorbets de grande qualité (**Apria, 1973**).

I.6.2.6. Substrat de fermentation

Le lactosérum est un environnement de culture favorable pour la production d'acide lactique par les bactéries lactiques (**Poget et Ramseier, 1993**). De plus, il favorise le développement de diverses espèces microbiennes, notamment les levures qui utilisent le lactose comme source de carbone (**Omar et Sabry, 1991**).

Le schéma au dessous représente les différents domaines d'utilisation du lactosérum :





Chapitre II :

L'activité
antioxydante

II.1. Stress oxydatif

Le stress oxydatif désigne le déséquilibre entre la production de radicaux libres et de métabolites réactifs, connu sous le nom d'oxydants ou d'espèces réactives de l'oxygène, et leur élimination par des mécanismes de protection, appelés antioxydants (**Reuter et al, 2010**). L'équilibre entre les espèces réactives de l'oxygène et les espèces antioxydantes est donc défini par la balance oxydative. En médecine, la notion de balance oxydative est utilisée pour préserver la santé de l'organisme (**Davies, 2000 ; Finkel et Holbrook, 2000**). Les maladies cardiovasculaires et neurodégénératives sont des problèmes fréquents liés à son déséquilibre (**Heim et al, 2002**). Cette balance est en constante évolution et est maintenue dans un équilibre optimal grâce à des mécanismes enzymatiques ou à des apports externes de molécules très actives (**Noguchi, 2002**).

Tableau 6: Exemples des pathologies liées au stress oxydatif (**Bensakhria, 2018**).

Maladies où le stress oxydatif est la cause primordiale	Maladies où le stress oxydatif est le facteur déclencheur	Maladies entraînant un stress oxydatif secondaire
Cancers, Auto-immunité, Cataracte	Maladie d'Alzheimer, Stérilité masculine, Rhumatismes, athéromes, asthmes.	Diabète, Insuffisance rénale, Maladie de Parkinson.

II.2. Activité antioxydante

La capacité d'un composé à résister à l'oxydation est appelée activité antioxydante. Le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocopherol (vitamine E) et les composés phénoliques sont les antioxydants les plus connus. Effectivement, la majorité des antioxydants fabriqués ou naturels contiennent des groupes hydroxyphénoliques dans leurs structures, ce qui explique en partie leur capacité à capturer les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles (OH) et les superoxydes (O_2) (**Rice-Evans et al, 1995 ; Bartosz, G.2003**).

II.3. Radicaux libres

Les radicaux libres sont présents partout dans notre organisme et sont produits par des mécanismes physiologiques normaux, tels que le métabolisme aérobie et les réponses inflammatoires, afin de combattre les microorganismes pathogènes qui envahissent notre organisme. Les radicaux libres sont des espèces extrêmement réactives en raison de l'existence d'au moins un électron libre sur leur orbitale électronique externe (**Govindarajan et al, 2005**). Les radicaux libres peuvent également entraîner des

dommages cellulaires. De nombreux moyens de défense ont été développés pour protéger nos cellules contre ces radicaux et réparer les dommages causés par l'ADN (Hussain et al, 2003).

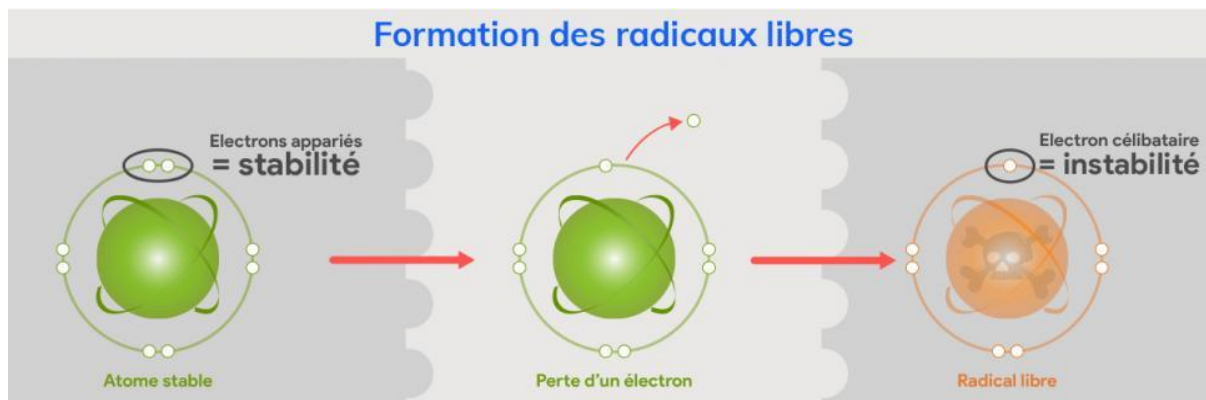


Figure 2: Passage de l'état stable au radical libre et sa stabilisation de nouveau (Penser santé, 29 Mai 2024).

Les radicaux libres (Tableau 7) sont classés en:

- Radicaux libres primaires qui sont formés par transfert d'électron à l'atome d'oxygène (Favier, 2003).
- Radicaux libres secondaires qui sont formés par réaction des radicaux primaires sur les composés biochimiques de la cellule ou par l'interaction de deux radicaux primaires entre eux (Favier, 2003).

Tableau 7: Principaux radicaux libres (Munteanu et Apetrei, 2021 ; Rolland, 2004).

Radical	Formule
Anion superoxide	$^3\text{O}_2^-$
Hydroxyle	^-OH
Peroxyle	ROO°
Alcoxyles(carbonyle excité)	RO°
Perhydroxyle	HO_2
oxygène singulet	$^1\text{O}_2$
peroxyde d'hydrogène	H_2O_2
Hydroperoxyde	ROOH

II.4. Mécanisme de production et d'élimination des dans l'organisme

Les composés réactifs de l'oxygène responsables de la perturbation de l'équilibre cellulaire peuvent être produits à la fois par des sources endogènes (mitochondries,

peroxysomes, cellules inflammatoires) et par des sources exogènes (rayonnement, ozone, hyperoxie, xenobiotiques). Il existe de nombreux mécanismes de défense contre la toxicité des espèces réactives de l'oxygène (**Govindarajan et al, 2005**) et ils sont également issus de différentes sources. La source initiale provient de l'intérieur et est constituée de protéines enzymatiques. Le complexe enzymatique superoxyde dismutase, la catalase et le glutathion peroxydase jouent un rôle crucial dans cette défense (**Matés et Sánchez Jiménez, 1999**).

La deuxième source, qui revêt une grande importance, est l'alimentation et la médecine, à travers lesquelles des molécules de petite taille sont ingérées. Il s'agit de vitamines, de caroténoïdes, de flavonoïdes, d'acides phénols, de coumarines, de quinones et d'alcaïdes. Les hydroxyles libres, les noyaux aromatiques et les doubles liaisons éthyléniques souvent conjuguées sont les composants les plus actifs de ces molécules, ce qui leur permet de générer des électrons et de rester stables par mémorisation (**Heim et al, 2002**).

II.5. Anti oxydants

Un antioxydant peut être défini comme toute substance qui peut, à une concentration relativement faible, rivaliser avec d'autres substrats oxydables et ainsi retarder ou empêcher leur oxydation (**Berger, 2006**).

Autrement dit, un antioxydant est une substance qui, en petite quantité par rapport à la quantité des substances oxydables comme les espèces oxygénées réactives, retarde ou prévient l'oxydation des substrats tels que les lipides, les protéines et les carbohydrates. La surproduction d'espèces réactives d'oxygène entraîne des dommages cellulaires importants, tels que l'induction de ruptures et de mutations de l'ADN, la modification des structures protéiques, la peroxydation des lipides, l'inactivation de différentes enzymes et l'oxydation des sucres (**Defraigne et Pincemail, 2008**).

Les méthodes antiradicalaires telles que sont les plus couramment employées pour évaluer l'activité antioxydante des molécules en laboratoire.

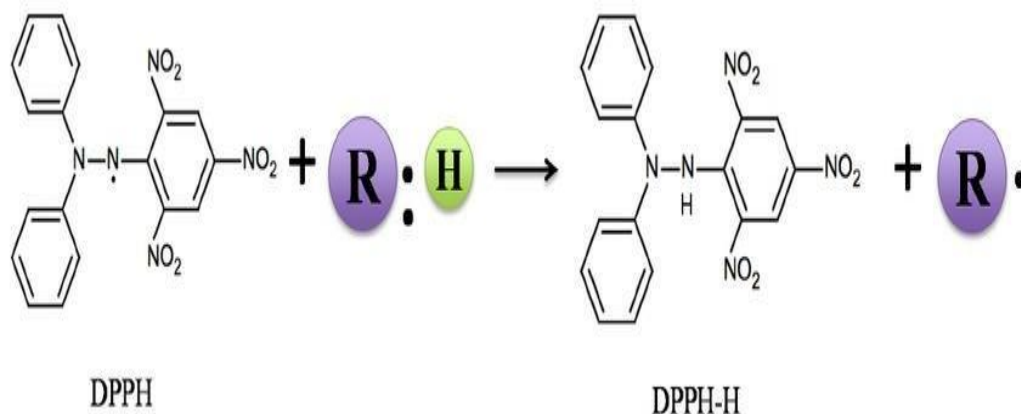


Figure 3: Réaction du DPPH avec une molécule donneuse de proton.

II.5.1. Classification des antioxydants

II.5.1.1. Anti oxydants à activité enzymatique

Il existe différentes enzymes qui sont impliquées dans des réactions visant à neutraliser les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène. Des enzymes essentielles telles que la superoxyde dismutase (SOD), le glutathion peroxydant et la catalase (CAT) sont présentes (Zeyiroglu et Ozturk Sarikaya, 2019). Et également des enzymes auxiliaires : Glutathione reductase, déhydrogénase de glutathione 6-phosphate (Flieger et al, 2021).

II.5.1.2. Anti oxydants à activité non enzymatique

Les vitamines A, C, E et les polyphénols, notamment les flavonoïdes, ainsi que les caroténoïdes et l'ubiquinone (coenzyme Q10), sont des antioxydants présents dans l'alimentation, qui peuvent réagir directement ou indirectement avec les ERO (Tableau 8) (Flieger et al, 2021 ; Durand, 2013).

II.5.1.3. Anti oxydants d'origine naturelle

Les substances naturelles non synthétiques peuvent réduire l'agression de la matière vivante en évitant toutes les formes de dégradation pathologique et de peroxydation lipidique, comme le β -carotène, l'albumine, l'acide urique, les oestrogènes, les polyamines, les flavonoïdes, l'acide ascorbique, les composés phénoliques, la vitamine E, etc (Zeyiroglu et Ozturk Sarikaya, 2019).

II.5.1.4. Anti oxydants d'origine synthétique

Les antioxydants tels que le BHT (Butylated hydroxytoluene), le BHA (Butylated hydroxyanisole), Trolox et TBHQ sont couramment employés dans le domaine de

l'industrie alimentaire et pharmaceutique. Ils sont efficaces (Zeyiroglu et Ozturk Sarikaya, 2019).

Tableau 8: Principaux antioxydants non enzymatiques et sources alimentaires associées (Koechlin-Ramonatxo, 2006).

Principaux nutriments anti oxydan	Sources alimentaires
Vitamine C	Agrume, melon, brocoli, fraise, kiwi, chou, poivron
Vitamine E	Huile de tournesol, de soja, de maïs, beurre, œufs, noix
Flavonoïdes	Fruits, légumes, thé vert
Acides phénoliques	Céréales complètes, baies, cerises
Tanins	Lentilles, thé, raisins, vin
Métabolisme de la cystéine, glutathion	Caséine, Lactalbumine (petit-lait), produits laitiers Brocoli, chou Œufs, poissons, viandes

II.5.2. Mécanisme d'action des anti oxydants

Il existe différents mécanismes d'action des antioxydants, qui sont de nature différente et agissent en synergie. Ils peuvent se sacrifier pour capturer l'électron non apparié d'un radical libre et le neutraliser en le délocalisant, ou bien réduire enzymatiquement les espèces réactives de l'oxygène (Favier, 2006). Ils sont également capables de capter l'oxygène singulier, de désactiver les radicaux par recombinaison covalente, de réduire les radicaux ou les peroxydes, ainsi que de complexer les ions et les métaux de transition (Diallo, 2005). Ces antioxydants naturels, en tant que composants alimentaires, semblent jouer un rôle important dans la prévention de maladies comme le cancer ou les maladies cardio-vasculaires (Diallo, 2005)

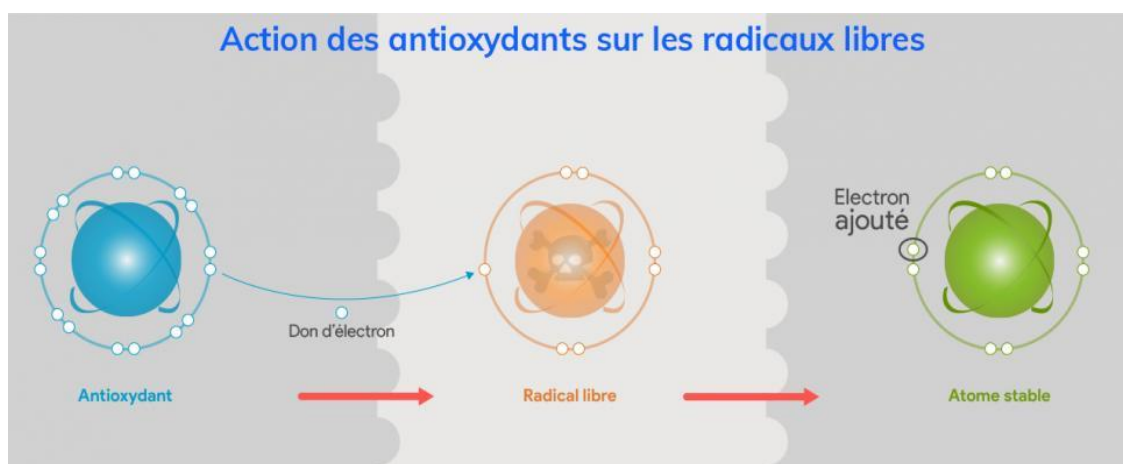


Figure 4: Action des antioxydants sur les radicaux libres (Penser santé, 29 Mai 2024).

Partie
.....
Expérimentale
.....

Chapitre III:
Matériel Et Méthodes

1. Lieu de travail

Notre travail expérimental a été réalisé au sein des laboratoires de Technologie Alimentaire, Physiologie végétale appliquée aux cultures hors sol de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Ibn Khaldoun de Tiaret.

2. Objectifs

Les objectifs de notre travail sont énumérés comme suit :

- Caractérisation physico-chimiques du lactosérum (acide, doux).
- Evaluation de l'activité anti oxydante.

3. Matériel et produits utilisés

3.1. Matières premières utilisés

3.1.1. Lactosérums

Nous avons préparé à partir d'une poudre de lait écrémé à 0% de matière grasse deux types de lactosérums : lactosérum doux et lactosérum acide.

3.1.2 Présure

Enzyme coagulante du lait, provient de DANMARK.

3.2. Appareillage

- Agitateur magnétique de type WISD LABORATORY INSTRUMENTS.
- Balance de précision OHAUS PIONEER.
- Bain Marie: MEMMERT.
- Conductimètre électrique BANTE instrument.
- pH mètre HANNA instruments.
- Réfractomètre de type RL2.
- Réfrigérateur CONDOR.
- Spectrophotomètre GENWAY.
- Viscosimètre Thermo SCIENTIFIC.
- Centrifugeuse SIGMA.
- Four HERAEUS Instruments.

- Étuve.

3.3. Verrerie

- Béchers de 50,100.
- Burette graduée.
 - Eprouvette de 5, 10,50 et 100ml.
- Entonnoir.
- Fioles Jaugées.
- Pycnomètre.
- Micropipette.
- Verre de montre.
- Pipettes graduées.
- Capsule.
- Tubes à essai.

3.4. Produits utilisées

- Poudre de lait écrémé à 0% MG.
- Acétone.
- Acide chlorhydrique (HCl) concentré 37 %.
- Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré 95%.
- Ethanol.
- Folin-Ciocalteu.
- Phénolphtaléine.
- Phénol 5%.
- Solution de Na₂CO₃ 2% (Sodium carbonate).
- Solution de CuSO₄ 5% (Sulfate de cuivre(II)).
- Solution tampon (pH=5, pH=7).
- Tartrate double de K et de Na 10% .
- Hydroxyde de sodium (NaOH); 0.1N.
- Acide ascorbique (Vitamine C).
- 1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl (DPPH).
- Presure.

- Méthanol.

4. Protocole expérimental

Notre étude est basée sur le protocole expérimental suivant :

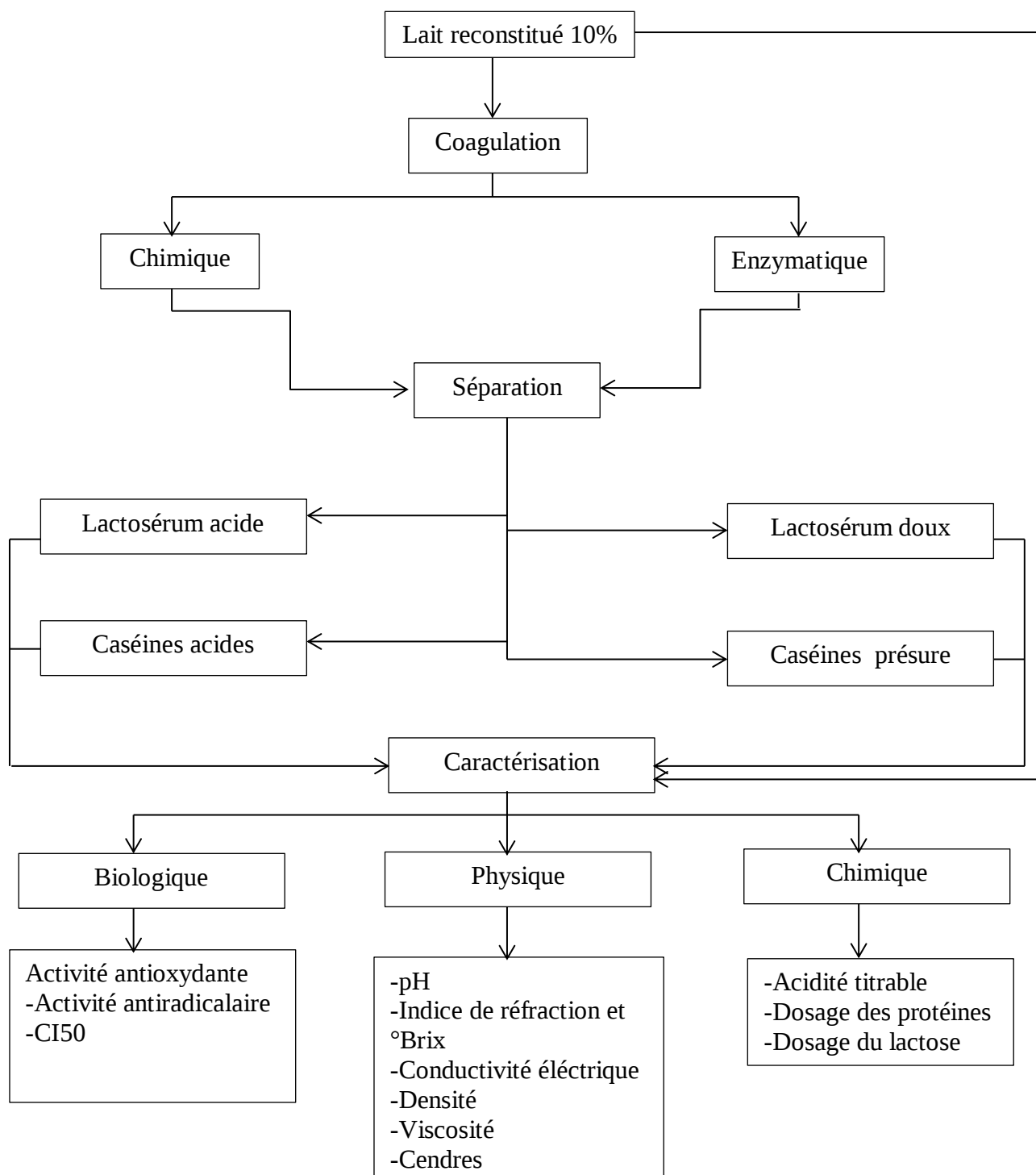


Figure 5: Protocole expérimental.

5. Préparation du lactosérum

5.1. Lactosérum acide

- Etalonner le pH mètre à l'aide des solutions tampons .
- Préparer un lait reconstitué à 10 %.
- Homogénéiser la solution par une agitation magnétique .
- Mettre l'électrode du pH-mètre dans la solution, et ajouter le HCl goutte à goutte, agiter le mélange et arrêter lorsque le pH devient 4.6.
- Recouvrir le bécher avec le papier aluminium, et le conserver à 4° C pendant 1 à 2heures.
- Séparer le lactosérum acide en appliquant une centrifugation, et récupérer ensuite, le lactosérum acide.
- Le conserver à 4° C jusqu'à l'utilisation.



Figure 6: Lactosérum acide.

5.2. Lactosérum doux

- Préparer un lait reconstitué à 10 %.
- A l'aide d'un agitateur magnétique chauffant, chauffer le lait à 35° C.
- Ajouter 2 ml de présure préparée à 1%.
- Maintenir l'agitation à 35° C pendant 40 minutes.
- Recouvrir le bécher avec du papier aluminium, et le conserver à 4° C pendant 12 à 24heures.

- Séparer le lactosérum doux en appliquant une centrifugeuse, et récupérer ensuite, le lactosérum doux.
- Le conserver à 4° C jusqu'à l'utilisation.

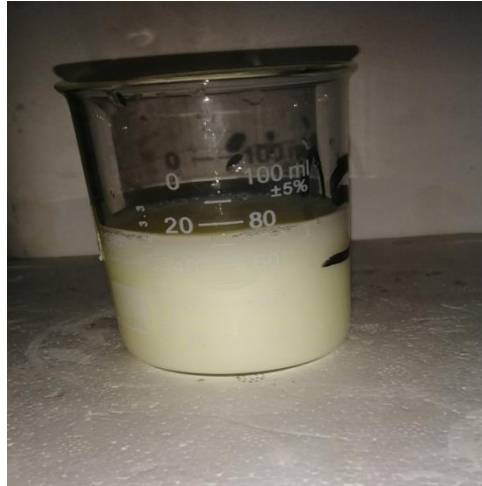


Figure 7: Lactosérum doux.

5.3. Préparation de présure

Nous avons préparé une solution de 0,5% (0,5g présure dans 50 ml l'eau distillé).

6. Méthodes des analyses physico-chimiques

6.1. Densité

Principe

La densité du lactosérum correspond au rapport entre les masses du même volume du lactosérum et de l'eau à une température de 20°C (**Mathieu, 1998**). La masse volumique des corps est déterminée de manière précise à l'aide d'un pycnomètre selon les méthodes habituelles.

Mode opératoire

- Peser le pycnomètre vide (p_0) et plein d'eau distillée (p_1).
- Sécher le pycnomètre, puis le remplir avec l'échantillon et le peser (p_2).
- Les résultats sont donnés par la formule suivante :

$$D = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0}$$

D'où :

D : Densité de l'échantillon.

P0 : Poids du pycnomètre vide en g.

P1 : Poids du pycnomètre rempli d'eau distillée en g.

P2 : Poids du pycnomètre rempli de l'échantillon.



Figure 8: Pycnomètre.

6.2. Viscosité

Principe

Le frottement des molécules entraîne la viscosité, qui se manifeste par une résistance plus ou moins grande des liquides à l'écoulement. La viscosité absolue, η , est généralement exprimée en centipoise. Elle est mesurée en calculant le temps de chute d'une petite boule dans une colonne (viscosimètre d'Hoeppler), qui est fondé sur la loi de Poiseuille(Boubezari, 2010).

Mode opératoire

- Remplir le tube avec l'échantillon.
- Fixer la température désirée.
- Lorsque l'équilibre de température est atteint, choisir une bille pour laquelle son écoulement à travers l'échantillon dans le tube viscosimètre, doit être aussi lent que possible.
- Laisser ensuite la bille s'écouler librement et lorsqu'elle atteint le repère de la partie supérieure, mettre le chronomètre en marche.
- Lorsque la bille atteint le repère situé à la partie inférieure du tube viscométrique, noter le temps de chute de la bille.

Mode de calcul

Le calcul de la viscosité se fait selon la formule suivante :

$$V=t \times (D0-D1) \times K$$

D'où :

V : Viscosité en centipoise (cP).

t: Temps de chute de la bille en secondes (s).

D1 : Densité de l'échantillon.

D0 : Densité de la bille.

K : Constante d'étalonnage par gravité du tube.

6.3. Degré de Brix**Principe**

La quantité de matière sèche est le produit de l'évaporation de l'eau sur le lactosérum. On l'exprime en g/l (**Mathieu, 1998**). On la détermine en utilisant un réfractomètre.

Mode opératoire

- Etalonner le réfractomètre avec l'eau distillée dont l'indice de réfraction est égal à 1,333.
- Laver les prismes du réfractomètre à l'acétone et les essuyer avec un papier hygiénique
- Déposer une goutte de produit sur le prisme du réfractomètre.
- Diriger le réfractomètre vers une source de lumière et lire au niveau de l'intersection entre l'ombre et la lumière la valeur de degré Brix indiqué sur l'échelle.

6.4. Indice de réfraction**Principe**

Cette mesure permet de déterminer le niveau de pureté d'un liquide. Elle est effectuée à l'aide d'un réfractomètre équipé d'un thermomètre dont l'échelle couvre les valeurs de 20°C à 80°C ou plus, ainsi qu'un dispositif de circulation de liquide qui maintient l'appareil à ces températures. Nous avons utilisé la méthode AFNOR « **NF- 60.22, (1984)** ».

Mode opératoire

- Etalonner le réfractomètre avec l'eau distillée dont l'indice de réfraction est égal à 1,333.
- Laver les prismes du réfractomètre à l'acétone et les essuyer avec un papier hygiénique
- Verser entre le prisme 2 à 3 gouttes de l'échantillon.
- Déplacer alors la lunette de visée pour que la ligne de séparation de la plage claire et de plage sombre se situe à la croisée des fils de réticule.
- Enfin lire l'indice de réfraction du corps à étudier.



Figure 9: Réfractomètre.

6.5. Cendres**Principe**

La quantité de matière minérale présente dans un volume donné de lactosérum après incinération est appelée cendres (**Amaraglio, 1986**).

Mode opératoire

- Peser une capsule vide.
- Placer 5 ml du lactosérum dans une capsule.
- Placer la capsule sur un bain marie bouillant, jusqu'à évaporation de l'eau.
- Après l'évaporation de l'eau on met la capsule dans le four pendant 4h.
- Peser la capsule et le résidu après la dessiccation et le refroidissement.

$$T_c = (M_1 - M_0) \times (1000 / V) \text{ (g/l)}$$

D'où :

T_c : Teneur en cendres en g/l.

M₀ : Masse de la capsule vide en g.

M₁ : La masse de la capsule et le résidu après la dessiccation et le refroidissement.

V : Le volume de la prise d'essais en ml.



Figure 10: Capsule.

6.6. pH

Principe

Le pH est mesuré en utilisant un pH mètre, un dispositif qui évalue la différence de potentiel entre deux électrodes (**Audige et al, 1979**).

Mode opératoire

- Etalonner le pH-mètre par des solutions tampons à (pH=7 ; pH=5), le rinçage de l'électrode s'effectue par l'acétone et le nettoyage par le papier absorbant.
- Mettre l'électrode du pH-mètre dans un volume suffisant de l'échantillon (lactosérum doux ou acide).
- Lire le pH indiqué sur l'écran d'affichage du pH-mètre.



Figure 11: pH mtre.

6.7. Acidité titrable des lactosérums

Principe

Par titrimétrie de l'acide lactique à l'aide de NaOH N/9, en présence le dosage en utilisant la phénol phtaléine comme indicateur coloré de pH (**Lecoq, 1965**).

Mode opératoire

- Mettre 10 ml du lactosérum dans un bécher.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de phénophtaléine. Titrer avec la solution de NaOH (N/9) jusqu'au virage de la couleur vers le rose.
- Lire le volume de NaOH versé.

Mode de calcul

L'acidité du lactosérum est donnée par la formule suivante :

$$A = 10 \times (V1/V0)$$

D'où :

A : L'acidité titrable de l'échantillon en g/l.

V0: Volume en ml de la prise d'essai.

V1 : Volume de NaOH versé (ml).

1degré Dornic = 0,1g d'acide lactique par litre.

6.8. Conductivité électrique

Principe

La conductivité est la mesure de la capacité d'un corps ou d'une solution à autoriser le passage du courant électrique. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre (**Boudier et Luquet, 1981**).

Mode opératoire

- Etalonner l'appareil à l'aide l'eau distillée.
- Laver l'électrode du conductimètre à l'acétone et essuyer avec un papier hygiénique.
- Chauffer les échantillons à 25°C.
- Plonger l'électrode dans le bécher qui contient l'échantillon et lire directement la conductivité électrique du l'échantillon étudié à 25°C.



Figure 12: Conductimètre.

6.9. Détermination de la teneur en lactose par la méthode de (DUBOIS et al, 1956)

Principe

Le principe est basé sur cette réaction :

L'acide sulfurique concentré entraîne une déshydratation à chaud des oses, ce qui entraîne la formation d'un hydroxy-méthyl furfural (HMF) dans le cas d'un hexaose et d'un furfural dans le cas d'un pentose. Ces composés se combinent avec le phénol pour former des

complexes colorés (jaune orangé). L'intensité de la coloration est liée à la concentration des oses, et la densité optique est mesurée à 488 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Réactifs

- Solution mère de lactose à 100 µg/ml pour le courbe étalon du lactose.
- Solution de phénol à 5% dans l'eau distillée.
- Acide sulfurique à 95% de pureté et de densité $d=1,83$.

Mode opératoire

Ce dosage permet la détermination de concentration du lactose dans le lactosérum. Pour cela à 1 ml de l'échantillon dilué, on ajoute 1 ml du phénol à 5% puis 5 ml d'acide sulfurique. Après agitation, on laisse le mélange réactionnel reposer 10 min à température ambiante, puis on l'incube au bain marie à 30°C pendant 30 min. Après la lecture des absorbances au spectrophotomètre à 488 nm, les valeurs obtenues sont traduites en concentrations de lactose par référence à la courbe d'étalonnage préalablement établi.

6.10. Dosage des protéines par la méthode de (LOWRY et al, 1951)**Principe**

Le principe fondamental repose sur la réaction de deux réactions. Tout d'abord, la présence de sulfate de cuivre dans un milieu alcalin entraîne la formation d'un complexe entre l'ion cuivrique et la liaison peptidique, ce qui entraîne une coloration violette proportionnelle à la quantité d'acides aminés présents dans le milieu (réaction de Biuret). Ensuite, la deuxième réaction résulte de la réduction de la tyrosine et du tryptophane présents dans les protéines par le composant actif du réactif de Folin-Ciocalteu, l'acide phosphomolybdotungstique, ce qui donne naissance à un complexe bleu.

Réactif

- Solution A : 2% Na_2CO_3 anhydre dans la soude 0.1N.
- Solution B1 : 5% CuSO_4 .
- Solution B2 : 10% tartrate double de K et Na.
- Solution E : Folin-Ciocalteu dilué au 1 / 2 de l'eau distillé.
- Réactif B : 1 ml de solution B1 + 1 ml de solution B2 + 8 ml de l'eau distillée.
- Réactif C : 1 ml de réactif B et 50 ml de solution A.

Mode opératoire

- 1 ml d'échantillon à doser (1ml de lactosérum).
- Ajouter 5 ml de réactif C.
- Laisser 10 mn à température ambiante.
- Ajouter 0.5ml de la solution E (la coloration devient bleue) après agitation rigoureuse.
- Laisser 30 mn à l'obscurité.
- Faire la lecture de l'absorbance à 750 nm.

6.11.Détermination de la matière sèche**Principe**

La matière sèche est définie comme étant le résidu d'un aliment restant après l'élimination de l'eau, dans des conditions expérimentales données dont la somme de la teneur en eau et en matière sèche représente la totalité de l'aliment.

Mode opératoire

Nous avons opté la méthode de (**Aoac, 1990**).

- Peser 2 à 2.5 g de l'échantillon.
- Puis les placer dans l'étuve réglée à 105°C pendant 2h.
- Retirer les creusets de l'étuve, les placer dans le dessiccateur, laisser refroidir et peser.
- L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

Expression des résultats

Le pourcentage de matière sèche est déterminé par la relation:

$$\text{MS \%} = \frac{\text{Msec}}{\text{Mix}} \times 100$$

Mi = masse de l'échantillon initial (g).

Msec = masse de l'échantillon sec (g) après passage dans l'étuve à 105 °C.

7. Activité antioxydante**7.1. Test de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)**

La présence d'un électron délocalisé dans le radical organique DPPH lui confère une coloration violette, avec une absorbance maximale à 517 nm. L'examen repose sur :

La concentration d'un antioxydant (AH, habituellement un composé phénolique) dans la réduction du radical chimique DPPH° (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) par transfert d'hydrogène. La solution radicale, initialement violette, se transforme en un jaune pâle dans DPPH-H

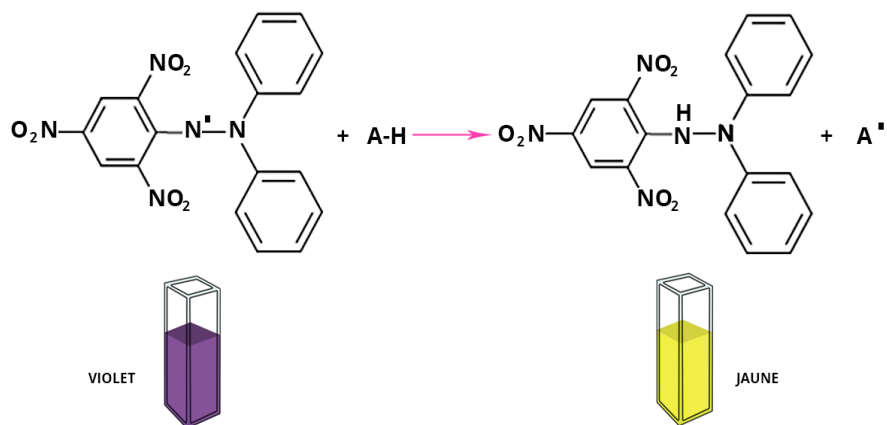


Figure 13: Structure chimique du radical libre DPPH.

7.2. Protocole du test au DPPH

Une solution méthanolique a été préparée pour la solution de DPPH : On a ajouté 0,008 g de DPPH à 100 ml de méthanol. On dissout le radical DPPH dans le méthanol et on le garde à l'abri de la lumière. L'absorbance est évaluée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible 1100.

Pour cette étude, nous avons développé une variété de dilutions pour la vitamine C (acide ascorbique) en partant d'une concentration initiale de 1g/10ml d'eau distillée.



Figure 14: Vitamine C.

Principe

En solution alcoolique, le radical DPPH montre une coloration violette intense à température ambiante, qui disparaît lorsqu'il entre en contact avec une substance donneuse de protons. Le pouvoir antioxydant d'un échantillon est mis en évidence par sa capacité à capturer le radical libre, ce qui se traduit par une réduction de l'absorbance à 517 nm (Moon et Shibamoto, 2009).

Mode opératoire

- Mélanger 2 ml de solution DPPH avec 2 ml lactosérum.
- Laisser dans l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes.
- Mesurer l'absorbance à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV visible 1100 le méthanol comme un blanc.
- Les résultats sont exprimés à partir d'une courbe d'étalonnage.
- La vitamine C (acide ascorbique) a été utilisée comme contrôle positif.



Figure 15: DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl).

Expression des résultats

Les résultats sont exprimés en tant qu'activité anti-radicalaire ou l'inhibition des radicaux libres en pourcentages (AA %) en utilisant la formule suivante :

$$\% \text{ AA} = [(\text{Abs contrôle} - \text{Abs extrait}) / \text{Abs contrôle}] \times 100$$

AA %: Pourcentage de l'activité anti-radicalaire (AAR%).

Abs Échantillon : Absorbance de l'échantillon.

Abs Contrôle : Absorbance du contrôle négatif.



Figure 16: Dilution du lactosérum par DPPH.

7.3. Evaluation de la concentration inhibitrice CI50

L'efficacité d'un composé particulier à inhiber une fonction biologique ou biochimique spécifique est évaluée par sa concentration inhibitrice moyenne. La capacité antioxydante du composé est inversement liée à la CI50. La CI50 correspond à la quantité d'antioxydant requise pour diminuer la concentration de 50% de radicaux libres.

Chapitre IV:
Résultats Et
Discussion

I.Caractérisation

Les paramètres physico-chimiques moyens des lactosérums analysés sont indiqués dans le tableau :

Tableau 9: Paramètre physico-chimiques moyens des lactosérums bruts étudiés.

Paramètres	LSA	LSD
Densité à 20°C	1,029	1,021
Viscosité (cP)	1,0820	2,6476
Acidité (°D)	52	19
pH	4,7	6,10
CE (mS/cm)	6,26	5,80
Indice de réfraction	1,344	1,345
°Brix (%)	7	7,5
Cendres (g/l)	7,80	6,65
Protéines (g/l)	5,95	7,65
Lactose (g/l)	30,78	38,75

I.1. Densité

D'après les résultats obtenus. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus 1.0293 pour le lactosérum doux et 1.0298 pour le lactosérum acide.

I.2. Viscosité

D'après les résultats obtenus, la viscosité du lactosérum doux est plus élevée que celle du lactosérum acide, la viscosité varie en fonction de différents facteurs tels que la température, la nature du solvant, la taille, la forme, la concentration, la charge électrique des particules dispersées et leur affinité.

I.3. Acidité

D'après les résultats obtenus, l'acidité du lactosérum doux est en accord avec la valeur préconisée par (**Vierling et Leyral, 2003**), qui établissent une plage de 9 à 13°D.

I.4. pH

D'après les résultats obtenus, le pH du lactosérum doux correspond à la valeur donnée et constaté qu'il varie entre 6.1 et 6.7 pour un lactosérum doux. De plus, la valeur obtenue pour le lactosérum acide est normale dans l'intervalle donné s'étend de 4.6 à 6.00.

I.5. Conductivité électrique

D'après les résultats obtenus, la conductivité électrique du lactosérum acide est élevée que celle remarquée pour le lactosérum doux. Il s'agit de la différence causée par la charge minérale présente dans chaque type de sérum ; plus elle est élevée, plus la conductivité électrique augmente. La conductivité électrique fluctue en fonction de la puissance des électrolytes, de leur mobilité et de leur charge ionique.

I.6. Indice de réfraction

D'après les résultats obtenus, le lactosérum acide présente un indice de réfraction à 20°C très similaire à celui du lactosérum doux, ce qui est similaire à ceux obtenus par (Adda, 2002) qui a obtenu 1,345 pour LSD et 1,344 pour LSA. L'indice de réfraction fluctue en fonction de la température et de la composition du lactosérum.

I.7. Degré Brix

D'après les résultats obtenus, la valeur de Brix du lactosérum doux est similaire à celle à savoir 7,5 % pour le lactosérum doux et 7% pour le lactosérum acide (Lorient et Linden, 1994).

I.8. Cendres

D'après les résultats obtenus, nous observons que la concentration en cendres du lactosérum acide est plus élevée que celle du lactosérum doux. L'acidification entraîne une dégradation du caillé, ce qui se traduit par un pH plus bas et une teneur plus élevée en cendres.

I.9. Protéines

D'après les résultats obtenus, de protéines du LSD plus élevé que dans le LSA, ce qui est à peu près similaire à ceux obtenus qui ont observé une concentration de 0.9 à 13% pour le lactosérum doux et de 0.7 à 10.5% pour le lactosérum acide.

I.10. Lactose

D'après les résultats obtenus, de lactose observé dans le lactosérum doux et acide sont respectivement de 38,75 et 30,78 g/l par rapport à celles fournies (53,3g/l pour LSD et 44,3g/l pour LSA), plus faibles.

II. L'activité anti oxydante

L'activité antioxydante de lactosérum, caséine, le lait et vitamine C est évaluée par le test de piégeage du radical DPPH. Il est bien connu que quand une solution de DPPH est mélangée avec celle d'une substance contenant des antioxydants, le radical libre stable DPPH (couleur violet foncé) est converti en 1,1-diphényl-2-picrylhydrazine ce qui entraîne une décoloration facilement mesurable par spectrophotométrie à 517 nm (**Molyneux, 2004**). Les valeurs obtenues ont permis de tracer des courbes du pourcentage d'activité antiradicalaire pour lactosérum (acide et doux), caséine (acide et doux), le lait et acide ascorbique.

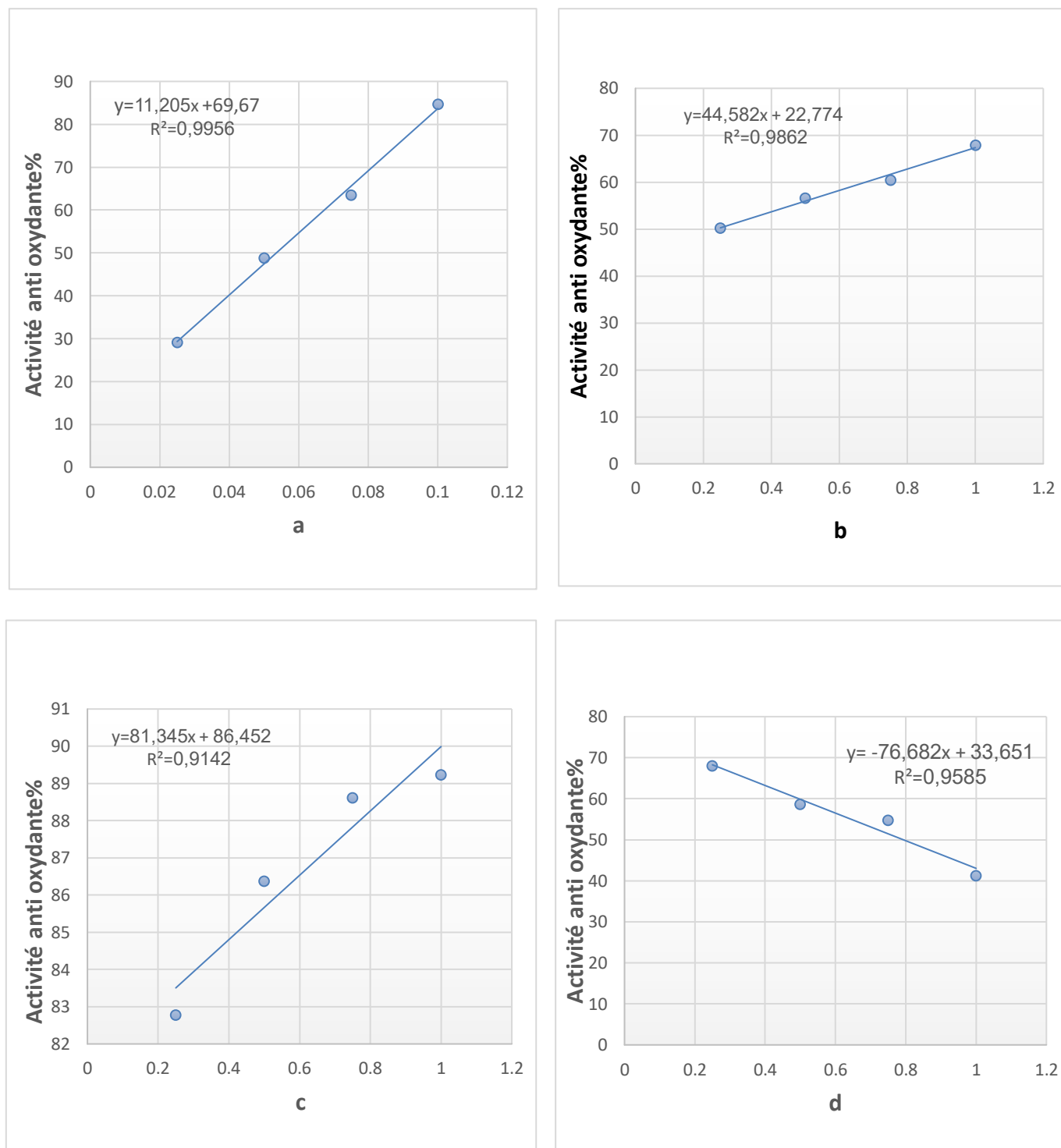


Figure 17: Activité anti oxydante du vitamine c (a) , lactosérum acide (b) , caséine acide (c) et le lait (d).

D'après les résultats

La figure (17) illustrent les résultats d'analyse de l'activité antioxydante de lactosérum acide et de caséine acide comparés à celle de la vitamine C).

Les résultats indiquent que la caséine acide présente le plus grand pourcentage d'activité antioxydante pour les quatre concentrations testées, avec des valeurs de (82.78 ; 86.367 ; 88.609 ; 89.237), suivie du lactosérum acide avec des valeurs de (50.228 ; 56.645 ; 60.452 ; 67.937).

On peut constater que l'activité antioxydante dépendante car elle est proportionnelle à l'augmentation de la concentration de nos échantillons. La cinétique du pourcentage d'activité antioxydante nous a permis de déterminer l'IC50, qui correspond à la concentration , d'acide ascorbique nécessaire à l'inhibition de 50% du DPPH présent dans le milieu. Notant que plus l'IC50 est faible plus l'activité antioxydante du composé est importante. Les résultats des propriétés antioxydantes de étudiée ainsi de la vitamine C, lactosérum (acide, doux) , caséine (acide , présure) et le lait du sont présentés dans le tableau 10. L'activité est exprimée sous la forme de valeurs d'IC50.

Tableau 10: Valeurs de concentration inhibitrice médiane CI 50 des solutions étudiés.

Les solutions	Valeurs de concentration inhibitrice médiane CI 50
Vitamine c	1,755
Lactosérum acide	0,610
Caséine acide	0,448
Lactosérum doux	0,280
Caséine présure	0,831
Le lait	0,213

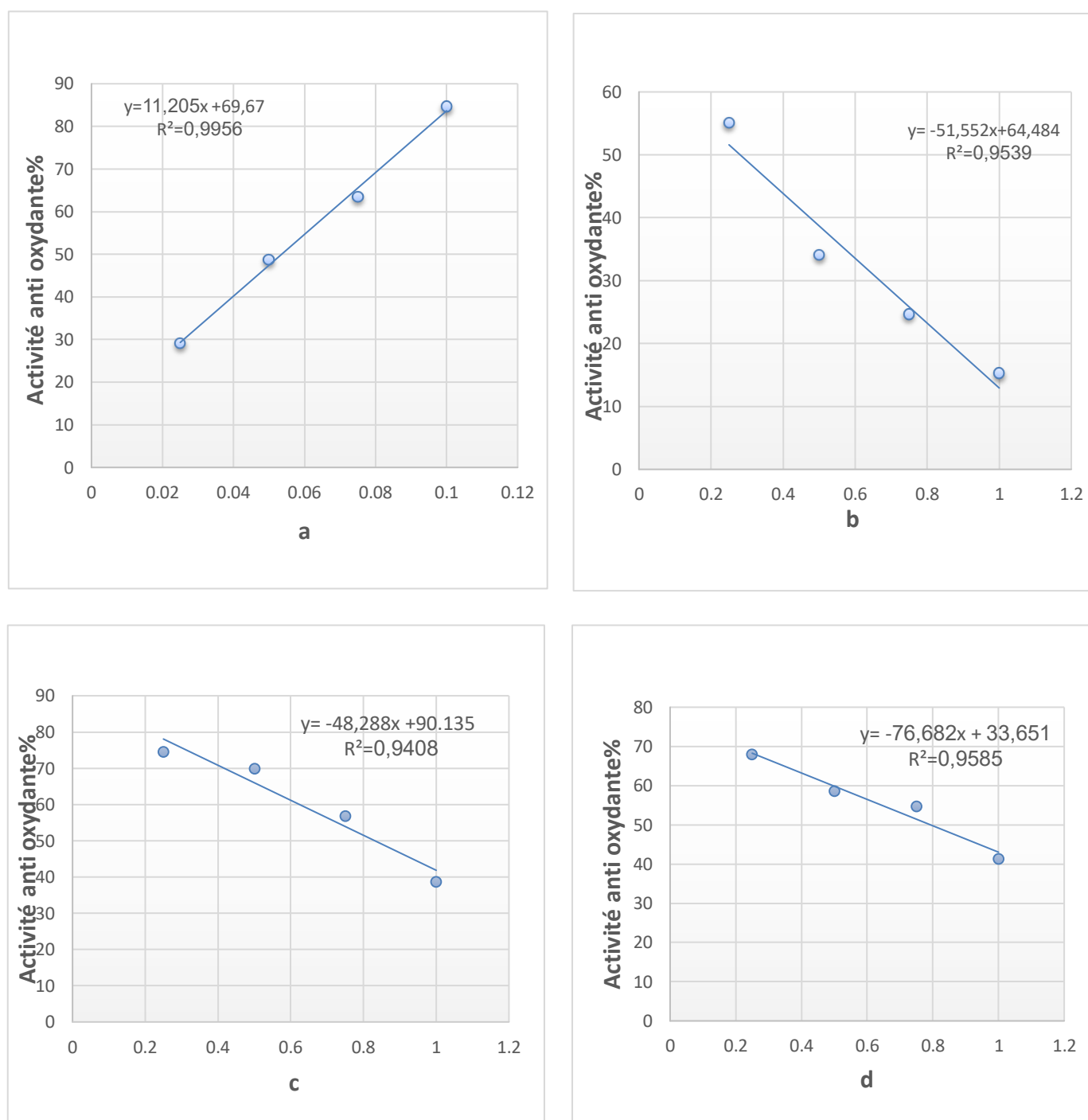


Figure 18: Activité anti oxydante du vitamine c (a) , lactosérum doux (b) , caséine présure (c) et le lait (d).

Selon les valeurs suivantes, le caséine présure est supérieur au lait en termes de valeur : (74,529 ; 69,865 ; 56,771 ; 38,654) ; (67,982 ; 58,654 ; 54,708 ; 41,255).

Les résultats du lactosérum sont plus faibles que ceux du lait et du caséine (55,067 ; 34,08 ; 24,663 ; 15,246).

En comparaison avec l'antioxydant standard (l'Acide ascorbique) qui démontre un $CI_{50}\% = 1.755\%$, les résultats sont cohérents et au contraire pour les résultats du lactosérum doux , caséine doux et le lait.

III. Evaluation de concentration inhibitrice médiane

La régression linéaire des taux d'inhibition calculés en fonction des différentes concentrations des solutions préparées a permis de calculer les concentrations des échantillons essentiels inhibés à 50% par le radical DPPH. Selon la figure24, les résultats de l'activité anti-radicalaire des solutions de lait, de lactosérum acide et doux, ainsi que de caséine acide et doux, démontrent une activité anti-radicalaire avec CI_{50} .

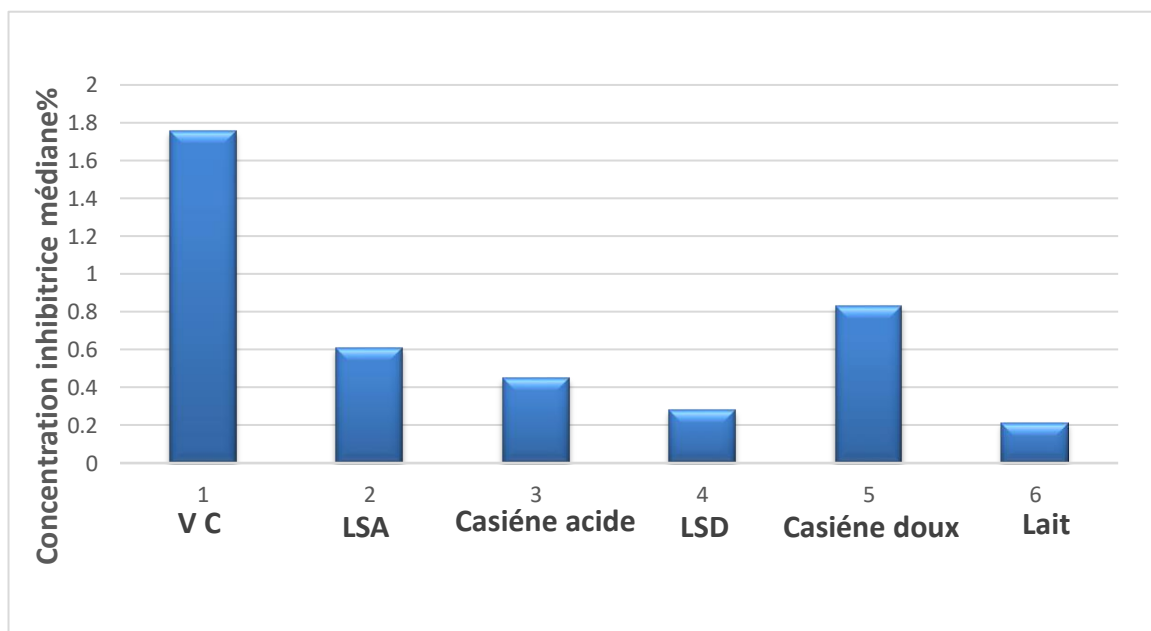
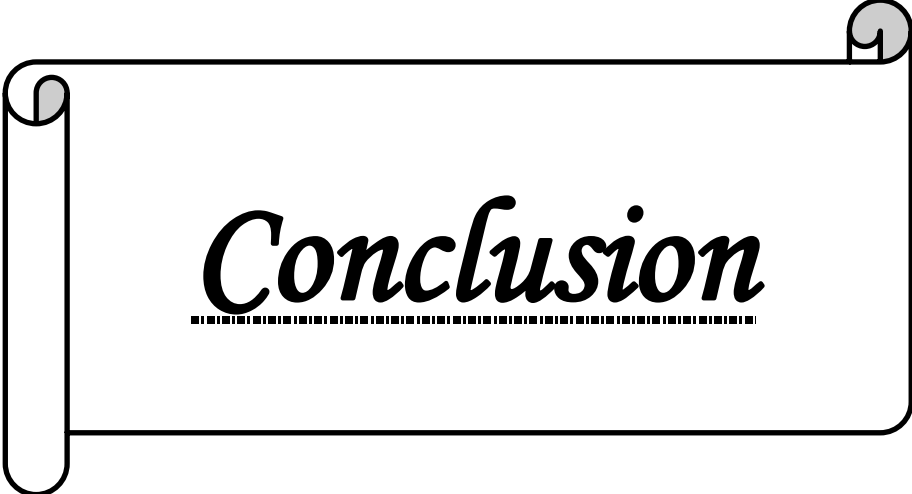


Figure 19: Valeurs de concentration inhibitrice médiane CI_{50} .

La caséine présure a la concentration inhibitrice médiane la plus élevée, avec une valeur de 0,831%, suivie de lactosérum acide à 0,610%, puis de caséine acide à 0,448%, avant dernièrement de lactosérum doux à 0,280%, et récemment, le lait a la concentration inhibitrice la plus faible, avec une valeur de 0,213%.

En comparant avec l'antioxydant classique (l'acide ascorbique) qui présente un CI50% = 1,755 %, il est évident que toutes les solutions présentent une faible activité antioxydante par rapport au standard.



Conclusion

Conclusion

Le lactosérum, sous-produit de la production fromagère, s'est révélé posséder des propriétés antioxydantes intéressantes ces dernières années. Plusieurs études ont en effet démontré que le lactosérum contient des composés capables de neutraliser les radicaux libres et de protéger les cellules contre les dommages oxydatifs.

Cette activité antioxydante du lactosérum provient principalement de la présence de certaines protéines comme la lactoferrine, la lactoperoxydase et les immunoglobulines. Ces composés ont la capacité de chélater les ions métalliques pro-oxydants et de piéger les espèces réactives de l'oxygène. Certains peptides issus de l'hydrolyse des protéines du lactosérum ont également montré des propriétés antioxydantes.

En plus des protéines, le lactosérum contient aussi du lactose, des minéraux et des vitamines qui contribuent à son activité antioxydante globale. Le profil de ces nutriments varie selon le type de lactosérum (acide ou doux) et les procédés de transformation utilisés.

Cette activité antioxydante du lactosérum présente un grand intérêt dans de nombreux domaines, notamment dans l'alimentation fonctionnelle, la cosmétique et la santé. Le lactosérum pourrait ainsi être valorisé comme un ingrédient actif capable de lutter contre le stress oxydatif et les effets néfastes des radicaux libres.

Cependant, des recherches complémentaires sont encore nécessaires pour mieux comprendre et optimiser cette propriété antioxydante, en fonction des différentes sources et méthodes de transformation du lactosérum.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- **Allali1.A, Rezouki1.S, Chaouch1.M, Louasté.M. (2019).** Production of simple sugars from lactose and lactoserum. *Journal of Applied Science and Environmental Studies* 1(2) pp. 65-73.
- **Adrian.J, LEGRAND.G, FRANGNE.R. (1981).** Dictionnaire de Biochimie alimentaire et de nutrition, Tec et Doc. Lavoisier .paris. p223.
- **Adrian.J, POTUS.J, FRANRUE.R. (1995).** La science alimentaire de A à Z, 2ème édition, Tec et Doc. Lavoisier. Paris. P243.
- **Afnor. (1984).** méthode d'analyse des corps gras graines oléagineuses, produits dérivés collections. AFNOR, France, p 455.
- **Agnes.N. (1986).** Production de protéines à partir de lactosérum brut, Thèse de 3ème cycle, Université de Lyon.
- **Aloglu.HS and Oner.Z .** Determination of antioxidant activity of bioactive peptide fractions obtained from yogurt. *Journal of Dairy Science*, 2011; 94: 5305-14.
- **AMARIGLIO.S. (1986).** Contrôle de la qualité des produits laitiers, analyse physique et chimique des services vétérinaires (I.T.S.V), AFNOR, paris.
- **Amarowicz.R, Troszynska.A, Shahidi.F. (2005).** Antioxydant activity of almond seed extract and its fractions. *J. of Food Lipids*, 12: 344-358.
- **Androuët.P. (2002).** Le dictionnaire des fromages du monde. (Amazon, Ed.) (Le Cherche Midi). Collection Beaux Livres.
- **Anonyme, (2001).** Commission canadienne du lait, novembre 2001.
- **Apak.R, Güçlü.K, Özyürek.M, et Çelik.SE. (2008).** Mécanisme des tests de capacité antioxydante et du test CUPRAC (capacité antioxydante réduisant les ions cuivriques). *Microchimica Acta*, 160(4), 413-419.
- **APRIA. (1973).** Les lactosérums traitement et utilisation, association pour la promotion industrie agriculture, paris. P : 3-132.
- **Apria, (1980).** Utilisation de lactosérum en alimentation humaine et animal.
- **Banon.S, Hardy.J. (1991).** Study of acid milk coagulation by an optical method using light reflection, *J. Dairy Res.* 58 pp.75-84.
- **Bardy.S, Bentz.M, Bussière.T, Chatras.J, Fontaine.L, Gaugler.M, Lechat.L et Lengronne.O. (2016).** Valorisation du lactosérum.
- **Benaissa.M. (2018).** Valorisation du lactosérum par les bactéries lactiques. Thèse de Doctorat en science spécialité : Biotechnologie option écosystème microbiens complexes, Université d'Oran Ahmed Ben Bella.
- **Bernardeau.M, Gueguen.M, Smith.DG, Corona-Barrera.E, Vernoux.JP. (2009).** Antagonistic activities of two *Lactobacillus* strains against *Brachyspira*. *Vet Microbiol.* 138(1- 2); pp.184-190.
- **Bouayed.J et Bohn.T. (2010).** Antioxydants exogènes : des armes à double tranchant dans l'état redox cellulaire : effets bénéfiques sur la santé à doses physiologiques versus effets délétères à doses élevées. *Médecine oxydative et longévité cellulaire*, 3(4), 228-237.
- **Boudjenah.H. (2012).** Aptitude à la transformation du lait camelin en produits dérivés : effet des enzymes coagulantes extraits de caillètes de camelins. Thèse de doctorat en science biologique, Université UMMTO, Tizi-Ouzou.

Références Bibliographiques

- **Boudier.JF, Luquet.FM, Perre.C. (1976).** Utilisations de lactosérum en alimentation humaine et animale, Technique et Documentation, Paris, 1-113.
- **Boudier.K et Luquet.N. (1984).** le lait source d'ingrédients performant et versatiles journal of agriculture Food, Canada. 1233 -1246.
- **Boutonnier.JL. (2002).** Fabrication de fromage fondu. Technique d'ingénieur. traité agroalimentaire, F6310-1.
- **Carole. L, Vignola.I. (2002) .** Science et Technologie du lait. 598p.
- **Cervato.G, Cazzola.R, Cestaro.B. (1999) .** Studies on the antioxidant activity of milk caseins. International J. Food Sci. Nutr. 50: 291-6.
- **Cheftel.JC, Cuq.JL et Lorient.D. (1985).** Protéines alimentaires : Biochimie, propriétés fonctionnelles, valeur nutritionnelle et modifications chimiques. Tec et Doc. Lavoisier
- **Cloetens.L, Panee.J and Akesson.B. (2013).** The antioxidant capacity of milk – The application of different methods in vitro and in vivo. Cell. Mol. Biol. 59: 43-57.
- **Codex.A. (1999).** Norme pour les laits en poudre et la crème en poudre CXS 207-1999.
- **Córdoba.R. (2013).** Méthodologie alternative pour la réutilisation du lactosérum de fromage basée sur l'industrie de la canne à sucre dérivés de l'industrie de la canne à sucre. Université de Veracruz.
- **De Witt.JN. (2001).** Manuel de l'Enseignant sur le Lactosérum et les Produits de Lactosérum, 1ère édition. European Whey Products Association, Bruxelles, Belgique.
- **EFSA: European Food Safety Authority (2010).** Scientific opinion on lactose thresholds in lactose intolerance and galactosaemia.EFSA J; 8(9):1777.
- **FAO. (1995).** Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Alimentation et nutrition n° 28. ISBN 92-5-20534-6.
- **Fick.M. (2016).** Valorisation du lactosérum. Université de lorraine.
- **Halliwell.B. (1994).** Radicaux libres, antioxydants et maladies humaines : curiosité, cause ou conséquence ? The Lancet, 344(8924), 721-724.
- **Heslot.H. (1996).** L'ingénierie des protéines et ses applications. Paris: Lavoisier, Tec et Doc; pp.263.
- **Huffman.LM. (1996).** Transformation des protéines de lactosérum pour utilisation comme ingrédient alimentaire. Technologie alimentaire (États-Unis).
- **Legrand.P. (2008).** Intérêt nutritionnel des principaux acides gras des lipides du lait. Cholédol, P. 105.
- **Linden.G et Lorient.D. (1994).** Biochimie agro-industrielle : Valorisation alimentaire de la production agricole, Masson, Paris ,p367.
- **Lobo.V, Patil.A, Phatak.A et Chandra.N. (2010).** Radicaux libres, antioxydants et aliments fonctionnels : Impact sur la santé humaine. Avis sur la pharmacognosie, 4(118-126).
- **Mathieu.J. (1998).** Initiation à la physico-chimie du lait, Tec et Doc ,Lavoisier, Paris, p220.
- **Philips.LG, Whitehead.DM et Kinsella.J. (1994).** Propriétés structure-fonction des protéines alimentaires. Elsevier.
- **Prazeres.AR, Carvalho.F et Rivas.J. (2012).** Gestion du lactosérum de fromage : une revue. Journal de gestion environnementale, 110, 48-68.

Références Bibliographiques

- **Prior.RL, Wu.X et Schaich.K. (2005).** Méthodes standardisées pour la détermination de la capacité antioxydante et des composés phénoliques dans les aliments et les compléments alimentaires. *Journal de chimie agricole et alimentaire*, 53(10), 4290-4302.
- **Sies.H. (1997).** Stress oxydatif : oxydants et antioxydants. *Physiologie expérimentale*, 82(2), 291-295.
- **Silva.SV et MALCATA.FX. (2005).** Caseins as source of bioactive peptides. *International dairy journal*, 15(1), 1-15.
- **Smithers.GW. (2008).** Whey et protéines de lactosérum : de la « gouttière à l'or ». *Journal laitier international*, 18(7), 695-704.
- **Sokmen.A, Gulluce.M, Akpulat.HA et al. (2004) .** The in vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts of endemic *Thymus spathulifolius*. *Food Control* 15: 627–34.
- **ST-Gelais.D, Tirard.C. (2002).** Fromage, in science et technologie du lait, transformation du lait coordonnateur Vignola C. Fondation de technologie laitière du Québec.
- **Tanguy-Sai.G. (2018, March).** Impacts de la succession d'étapes (nano filtration, évaporation, séchage) sur le lactosérum acide lactique: Qualité de la poudre et évaluation énergétique. Comparaison de stratégies. In *Méta Séminaire CEPIA 2018 AgroParisTech* (p. np).
- **Yorgun.MS, Akmeht et Balcioglu.I et Saygin.O. (2008).** Performance comparison of ultra filtration, nano filtration and reverse osmosis on whey treatment. *Desalination*, 229, 204– 216.
- **Violleau.V. (1999).** Valorisation du lactosérum par électrodialyse. Thèse de doctorat. Montpellier.
- **Vrignaud.Y. (1983).** Valorisation du lactosérum, une longue histoire. *Revue laitière française* n°422, PP : 41-46.
- **Vourch.M, Balannec.B, Chaufer.B et Dorange.G. (2008).** Traitement des eaux usées de l'industrie laitière par osmose inverse pour réutilisation de l'eau. *Dessalement*, 219(1-3), 190-202.
- **Walstra.P, Wouters.JT et Geurts.TJ. (2005).** Science et technologie laitière. Presse CRC.
- **Wang.SV, Wu.JH, Shyur.LF. (2002) .** Antioxidant activity of abietane-type diterpenes from Heartwood of *Taiwania cryptomerioides* Hayata. *Holzforschung* 56.
- **Woo.A. (2002).** La grande diversité du lactosérum. *Agriculture et agroalimentaire*, Canada, p3-13.

Cite Web

- Antioxydants contre radicaux libres | Penser Santé (pensesante.fr)

Annexes

Annexe 01 :

Tableau 1a: paramètres physico-chimiques du lactosérum brut.

Paramètres	Lactosérum brut	
	LSD	LSA
Densité à 20°C	1,0289	1,0296
Viscosité (cP)	2,1118	1,0552
Acidité (°D)	13	53
pH	6,5	4,6
CE (mS/cm)	5,6	8,64
Indice de réfraction (nD 20)	1,3445	1,344
°Brix (%)	7,2	6,5
Cendres (g/l)	6,12	7,82
Protéines (g/l)	8,53	6
Lactose (g/l)	38,35	30,52

Annexes 02: Expression des résultats pour le dosage du lactose par la méthode de (**Dubois et al, 1956**) :

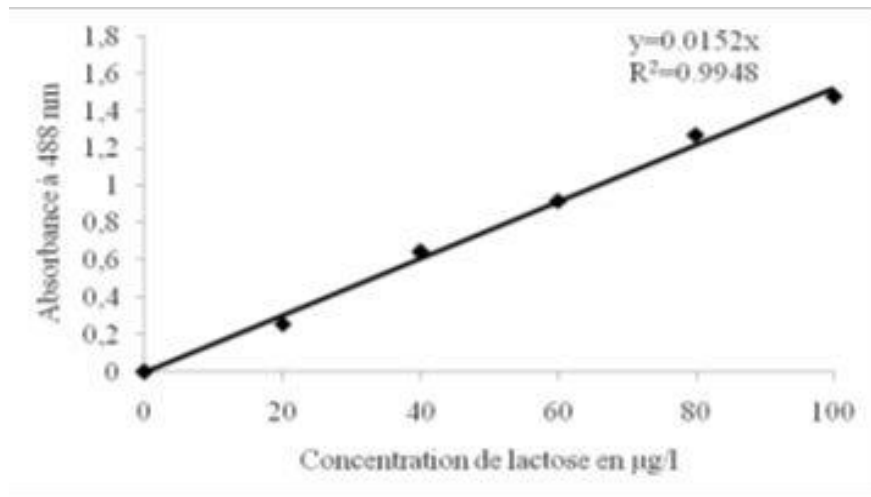
Préparation de la courbe d'étalonnage

La gamme-étalon de la courbe a été établie à partir de solution mère de lactose à des concentrations comprises entre 0 et 100 µg/ml, la gamme-étalon est donnée dans le tableau suivant :

Annexe 2a: gamme d'étalonnage de la courbe de dosage de lactose :

Concentration de lactose (µg/ml)	0	20	40	60	80	100
Solution mère (ml)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Eau distillée (ml)	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Phénol à 5% (ml)	1	1	1	1	1	1
Acide sulfurique (ml)	5	5	5	5	5	5

La figure représente la courbe d'étalonnage de lactose.



Annexe 2b: Courbe d'étalonnage du lactose.

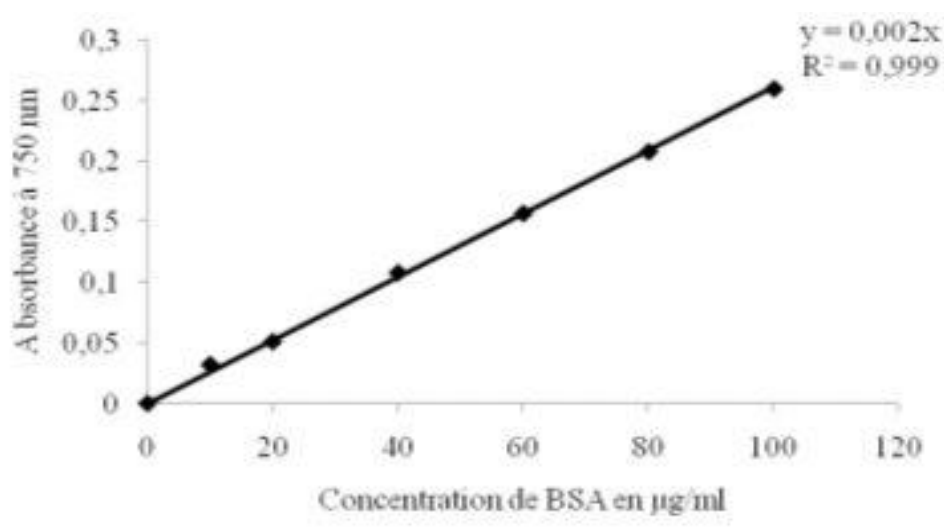
Annexe 03: Expression des résultats pour le dosage des protéines par la méthode de (Lowry et al ,1951)

La gamme-étalon est établie à partir d'une solution mère de BSA dont les concentrations sont comprises entre 0 et 100 µg/ml. Le mélange réactionnel de différentes concentrations est préparé selon le tableau.

Annexe 3a: Gamme d'étalonnage de la courbe de dosage des protéines.

Concentration de BSA (µg /ml)	0	10	20	40	60	80	100
Solution BSA (ml)	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Eau distillée (ml)	1	0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Réactif C (ml)	5	5	5	5	5	5	5
Solution E (ml)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

La figure représente la courbe d'étalonnage des protéines.



Annexe 3b: Courbe d'étalonnage des protéines.



Annexe 04: Prise des photos pour les lactosérums (acide , doux).

Lactosérum



Lactosérum acide



Lactosérum doux

Annexe 05 :Des photos pour des caséines (acide , présure).



Caséine acide



Caséine présure

Résumé

Notre objectif dans ce travail repose sur la connaissance des propriétés physicochimiques du lactosérum acide-doux et sur l'évaluation de l'activité antioxydante du lactosérum ainsi que des molécules de caséine. Le lactosérum est un sous-produit de la fabrication du fromage et de la caséine, le liquide restant après coagulation et séparation du caillé dans la production fromagère. Il est important pour l'industrie laitière et peut être évalué de différentes manières. Ces propriétés physicochimiques déterminent différentes possibilités d'utilisation du lactosérum et de sa valorisation dans de nombreux produits alimentaires.

Le lactosérum possède en effet des propriétés antioxydantes, grâce à la présence de certaines protéines qui lui confèrent un potentiel antioxydant intéressant pour le développement de produits pharmaceutiques alimentaires ou nutraceutiques dotés de propriétés antioxydantes (protection contre le stress oxydatif, amélioration de la stabilité des aliments, effets bénéfiques sur la santé).

Mots clés :

Lactosérum , Activité anti oxydante , Protéine , Valorisation , Caséine

المخلص:

يعتمد هدفنا من هذا العمل على معرفة الخواص الفيزيائية والكيميائية لمصل اللبن الحلو والحامض وعلى تقييم نشاط مضادات الأكسدة لجزيئات مصل اللبن وكذلك الكازين. مصل اللبن هو منتج ثانوي لصناعة الجبن والكازين، وهو السائل المتبقي بعد تخثر وفصل الخثارة في إنتاج الجبن إنه مهم لصناعة الألبان ويمكن تقييمه بطرق مختلفة. تحدد هذه الخصائص الفيزيائية والكيميائية الإمكانيات المختلفة لاستخدام مصل اللبن وتثمينه في العديد من المنتجات الغذائية.

يملك مصل اللبن بالفعل خصائص مضادة للأكسدة، وذلك بفضل وجود بروتينات معينة تعطي مصل اللبن إمكانيات مضادة للأكسدة مثيرة للاهتمام لتطوير الأغذية أو المغذيات منتجات صيدلانية ذات خصائص مضادة للأكسدة (الحماية من الإجهاد التأكسدي _ تحسين ثبات الغذاء _ تأثيرات مفيدة على الصحة).

الكلمات المفتاحية:

مصل اللبن، مضادات الأكسدة، البروتينات، التثمين، الكازين.