

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03
FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

Mémoire

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
EN GÉNIE DES PROCÉDÉS
OPTION : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT

Valorisation des minéraux : extraire et réutiliser le potentiel du lactosérum

Présenté par :

- **TAOUCHE Aya**
- **FERHAT Nehla Wihed**
- **HAMZAOUI Dina Manar**

Dirigé par :

AYAT Asma

Docteur

Année universitaire
2024-2025
Session : Juin

Sommaire :

Liste des figures :.....	1
Listes des tableaux.....	3
Introduction générale :.....	4
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE LACTOSERUM	5
1.1 Le lactosérum :	5
1.1.1 Les différents types de lactosérum :.....	5
a. Le lactosérum doux :	5
b. Le lactosérum acide :.....	5
1.1.2 Rôle de lactosérum dans l'industrie laitière :.....	6
1.1.3 Contexte de la gestion des sous-produits et de leur valorisation dans une économie circulaire :.....	6
a. Valorisation dans l'industrie alimentaire :.....	6
b. Valorisation dans l'alimentation animale :.....	6
c. Valorisation énergétique :.....	6
d. Valorisation chimique et biotechnologique :.....	7
e. Autres applications innovantes.....	7
1.1.4 Technologies de gestion et de transformation du lactosérum :	7
1.2 La richesse de lactosérum :.....	8
1.2.1 Composition du lactosérum :	8
1.2.2 Pourquoi le lactosérum est sous-exploité malgré sa richesse en nutriments :.....	9
a. Contraintes techniques et économiques :.....	9
1.3 Les secrets de la valorisation du lactosérum :	10
1.3.1 Processus d'extraction des minéraux par précipitation chimique : techniques et technologies utilisées :	10
a. Techniques et technologies courantes :	10
b. Avantages de la précipitation chimique :	10
1.3.2 Les défis techniques et les solutions émergentes pour optimiser la valorisation du lactosérum :.....	11
a. Défis techniques dans la valorisation du lactosérum :.....	11
b. Solution émergents pour optimiser la valorisation du lactosérum :	11
1.4 Applications des sels minéraux extraits du lactosérum :.....	12
1.4.1 Utilisation dans l'industrie alimentaire :.....	12
1.4.2 Utilisation dans l'industrie l'agriculture :	12

1.4.3	Utilisation dans l'industrie pharmaceutique :	12
1.4.4	Utilisation dans l'industrie cosmétique :	12
1.4.5	Utilisation dans traitement des eaux :	12
1.5	Le lactosérum comme levier pour une agriculture durable et une économie circulaire :	13
1.5.1	Comment les sels minéraux issus du lactosérum contribuent à une agriculture durable : 13	
1.5.2	Le rôle du lactosérum dans la réduction des déchets industriels et dans la transition vers une économie circulaire :	13
1.6	Bénéfices environnementaux et économiques de la valorisation du lactosérum : ...	13
1.6.1	Réduction des déchets laitière et gestion durable des sous-produits :	13
1.6.2	Impact économique :	14
1.6.3	Rentabilité pour les entreprises et modèles d'affaires possibles pour la valorisation du lactosérum :	14
1.7	Défis et enjeux dans la valorisation du lactosérum : Barrières techniques et économiques :	14
1.7.1	Les obstacles techniques dans l'extraction et la purification des minéraux du lactosérum :	14
1.8	La réglementation et les normes dans la valorisation du lactosérum :	15
1.8.1	Règlementations européennes et internationales concernant la transformation des sous-produits laitiers :	15
1.8.2	Normes sanitaires et alimentaires pour les produits dérivés du lactosérum :	16
1.9	Les perspectives d'avenir de la valorisation du lactosérum Innovation et recherche : 17	
1.9.1	Les nouvelles technologies et innovations pour améliorer la valorisation du lactosérum :	17
a.	Procédés avancés :	17
b.	Développement de nouveaux produits :	17
1.9.2	Perspectives de marché et tendances futures dans l'industrie des sels minéraux : 17	
1.9.3	Recherche et développement des axes prioritaires :	17
a.	Amélioration des processus :	17
b.	Nouveaux débouchés :	17
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES		18
2.1	Introduction	18
2.2	Présentation de la fromagerie	18

2.3	Origine du lactosérum	19
2.4	Effluents et impact environnemental	19
2.5	Prélèvement des échantillons	19
2.6	Matériel et réactifs	20
2.6.1	La Verrerie	20
2.6.2	Réactifs chimiques	21
2.6.3	Équipements spécifiques	21
2.7	Extraction des éléments minéraux	23
2.7.1	Extraction de Calcium	24
2.7.2	Extraction de magnésium	25
2.7.3	Extraction de phosphore	25
2.8	Techniques d'analyse utilisées.....	27
2.8.1	Titration complexométrique à l'EDTA.....	27
2.8.2	Spectroscopie d'absorption atomique) SAA)	27
2.9	Paramètres physico-chimiques mesurés	28
2.9.1	Le pH.....	28
2.9.2	La conductivité	28
2.9.3	Demande chimique en oxygène (DCO)	28
2.9.4	Demande biologique en oxygène éné (DBO ₅)	29
2.10	Valorisation des sels minéraux extraits	29
2.10.1	Application dans traitement d'eau.....	29
2.10.2	Application dans l'agriculture	30
CHAPITRE III :RESULTATS ET DISCUSSIONS		33
3.1	Introduction	33
3.2	Les paramètres physico-chimiques du lactosérum	33
3.3	Extraction des sels minéraux	33
3.3.1	Extraction du calcium.....	33
a.	Variation de la concentration du carbonate de sodium :	34
b.	Variation de la température :	35
c.	Variation du pH :	37
d.	Variation des types de lactosérum :.....	39
3.3.2	Extraction du magnésium.....	41
a.	Variation de la concentration en hydroxyde de magnésium.....	41
b.	Variation du pH en :	43

c. Variation des types de lactosérum :	44
3.3.3 Extraction du phosphore :	46
a. Variation de la concentration en phosphate de calcium	46
b. Variation du pH :	47
c. Variation des types de lactosérum en phosphate calcium :	48
3.4 Détermination des concentrations des sels minéraux	50
3.4.1 Les ions Calcium (Ca^{2+})	50
3.4.2 Les ions de magnésium (Mg^{2+}) :	50
3.4.3 Phosphore (H_3PO_4) :	50
3.5 Valorisation des sels minéraux extraits dans le domaine de l'agriculture comme des engrais liquide et résiduels sur des plantes indicatrices	51
3.5.1 La méthode d'application	51
a. Essaie sur Le géranium	51
b. Essaie sur La menthe	53
3.6 Valorisation de la solution calcique dans le domaine du traitement des eaux usées comme des coagulant	55
3.6.1 Conclusion pratique	58
Conclusion	59
Les annexes	60
Listes des références	64

Résumé

Le lactosérum est un sous-produit liquide issu de la fabrication du fromage et du yaourt. Bien qu'il contienne des éléments nutritifs précieux comme le calcium, le magnésium et le phosphore, il est souvent rejeté, entraînant des impacts environnementaux. Ce projet vise à valoriser ce sous-produit en extrayant ces trois minéraux par des procédés simples et accessibles : précipitation, filtration et séchage.

Les résultats expérimentaux ont révélé un rendement d'extraction de 84,3 % pour le calcium, 78 % pour le magnésium, et 68,5 % pour le phosphore. Les sels extraits ont ensuite été testés dans deux domaines : l'agriculture, où leur ajout aux plantes a favorisé une meilleure croissance, et le traitement de l'eau, où ils ont permis une réduction significative de la turbidité.

Cette double application prouve que le lactosérum, souvent perçu comme un déchet, peut devenir une ressource stratégique dans une approche de développement durable.

Mots clés

Lactosérum, extraction, sels minéraux, calcium, magnésium, phosphore, précipitation, filtration, séchage, coagulant naturel, engrais, traitement des eaux, croissance des plantes, valorisation, sous-produit, développement durable, économie circulaire, industrie laitière, pollution.

المخلص

شرش الحليب هو منتج ثانوي سائل ناتج عن صناعة الجبن واللبن. وعلى الرغم من احتوائه على عناصر غذائية مهمة مثل الكالسيوم والمغنيزيوم والفوسفور، إلا أنه غالبًا ما يُرمى، مما يسبب مشاكل بيئية. يهدف هذا المشروع إلى تجميع هذا المنتج من خلال استخراج هذه المعادن باستخدام طرق بسيطة وسهلة مثل الترسيب، التصفية والتجفيف. أظهرت النتائج أن نسبة استخراج الكالسيوم بلغت 84.3%، والمغنيزيوم 78%، والفوسفور 68.5%. وقد تم تجربة هذه الأملاح المستخرجة في مجالين رئيسيين: الزراعة، حيث ساهمت هذه المعادن في تحسين نمو النباتات، ومعالجة المياه، حيث قللت من العكارة بشكل ملحوظ.

يثبت هذا المشروع أن شرش الحليب ليس نفاية، بل مورد حيوي يمكن استغلاله في إطار التنمية المستدامة.

الكلمات المفتاحية

شرش الحليب، استخراج، الأملاح المعدنية، الكالسيوم، المغنيزيوم، الفوسفور، الترسيب، الترشيح، التجفيف، مادة تخثير طبيعية، سماد، معالجة المياه، نمو النباتات، تجميع، منتج ثانوي، التنمية المستدامة، الاقتصاد الدائري، صناعة الألبان، التلوث.

Abstract

Whey is a liquid by-product generated during cheese and yogurt production. Although it contains valuable nutrients such as calcium, magnesium, and phosphorus, it is often discarded, causing environmental concerns. This project aims to valorize whey by extracting these three minerals using simple and accessible methods: precipitation, filtration, and drying.

Experimental results showed an extraction yield of 84.3% for calcium, 78% for magnesium, and 68.5% for phosphorus. The recovered salts were tested in two key applications: agriculture, where they enhanced plant growth, and water treatment, where they significantly reduced turbidity.

This dual application demonstrates that whey, often seen as waste, can become a valuable resource in a sustainable development context.

Key words

Whey, extraction, mineral salts, calcium, magnesium, phosphorus, precipitation, filtration, drying, natural coagulant, fertilizer, water treatment, plant growth, valorization, by-product, sustainable development, circular economy, dairy industry, pollution.