



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش



Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.  
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers  
قسم العلوم البيولوجية  
Département des Sciences biologiques

# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème :

**Valorisation du lactosérum pour la production d'acide lactique:**

**Synthèse bibliographique**

Présenté par : SIOUDA Souhila  
TAGUIA Meriem

Soutenu le : 27/06 /2022

Devant le jury :

	Nom, Prénom	Grade	Affiliation
Président :	M <sup>r</sup> SEDRATI Tahar	MAB	Faculté SNV-STU, Bordj bou Arreridj
Encadrant :	M <sup>me</sup> TAMINE Milouda	MAB	Faculté SNV-STU, Bordj bou Arreridj
Examineur :	M <sup>me</sup> SOUAGUI Yasmina	MCB	Faculté SNV-STU, Bordj bou Arreridj

Année universitaire : 2021/2022



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج  
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.  
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers  
قسم العلوم البيولوجية  
Département des Sciences biologiques



# Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème :

Valorisation du lactosérum pour la production d'acide lactique:

Synthèse bibliographique

Présenté par : SIOUDA Souhila  
TAGUIA Meriem

Soutenu le : 27/06/2022

Devant le jury :

	Nom, Prénom	Grade	Affiliation
Président :	M <sup>r</sup> SEDRATI Tahar	MAB	Faculté SNV-STU, Bordj bou Arreridj
Encadrant :	M <sup>me</sup> TAMINE Milouda	MAB	Faculté SNV-STU, Bordj bou Arreridj
Examineur :	M <sup>me</sup> SOUAGUI Yasmina	MCB	Faculté SNV-STU, Bordj bou Arreridj

Année universitaire : 2021/2022

# SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Introduction ..... 01

## CHAPITRE I

## LE LACTOSERUM

II.1. Généralités.....03

II. 2. Définition du lactosérum..... 03

II. 3. La composition du lactosérum..... 03

II. 4. Les types du lactosérum..... 04

II. 4.1 Le lactosérum doux.....05

II. 4.2 Le lactosérum acide..... 05

II. 5. Valorisation du lactosérum..... 07

II. 6. Séparation des principaux constituants du lactosérum..... 08

II. 6.1 La déprotéinisation..... 08

II. 6.1.1 L'ultrafiltration..... 08

II. 6.1.2 La chromatographie échangeuse d'ions..... 09

II. 6.2 Extraction du lactose..... 09

II. 6.3 La déminéralisation..... 09

II. 6.4 L'élimination de l'eau( séchage )..... 10

## Chapitre II

## ACIDE LACTIQUE

I.1. Généralités..... 12

I.2. Les propriétés physico-chimiques de l'acide lactique ..... 12

I. 3. Applications de l'acide lactique..... 13

I.3.1 Applications alimentaires..... 14

I. 3.2 Applications non alimentaires..... 14

I. 3.2.1 Industries des polymères..... 14

I. 3.2.2 Industries chimiques..... 15

I. 3.2.3 Les industries du tannages et textiles.....	15
I. 3.2.4 Les industries pharmaceutiques.....	15
I. 3.2.5 Industries cosmétiques.....	15
<b>I. 4. Production d'acide lactique.....</b>	<b>15</b>
<b>I. 4.1 La production par voie chimique.....</b>	<b>16</b>
<b>I. 4.2 La production par voie fermentaire.....</b>	<b>17</b>
I. 4.2.1 La fermentation homolactique.....	18
I. 4.2.2 La fermentation hétérolactique.....	18
<b>I. 5. Les microorganismes producteurs d'acide lactique.....</b>	<b>19</b>
<b>I. 5.1 Les bactéries.....</b>	<b>19</b>
<b>I. 5.2 Les champignons.....</b>	<b>20</b>
<b>I. 5.3 Les levures.....</b>	<b>20</b>
I. 5.3.1 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	20
I. 5.3.2 <i>Candida</i> .....	20
<b>I. 6. Les matières premières utilisées pour la production d'acide lactique.....</b>	<b>21</b>
<b>I.6.1 Les monosaccharides et les saccharides.....</b>	<b>21</b>
<b>I. 6.2 Les polysaccharides.....</b>	<b>22</b>
<b>Chapitre III                  LE PROCEDE DE PRODUCTION D'ACIDE LACTIQUE</b>	
<b>III. 1. Généralités.....</b>	<b>23</b>
<b>III. 2. Préparation de la préculture.....</b>	<b>24</b>
<b>III. 3. Préparation de lactosérum .....</b>	<b>24</b>
<b>III. 4. Le milieu de fermentation .....</b>	<b>25</b>
<b>III. 5. La fermentation .....</b>	<b>26</b>
<b>III. 5.1 Optimisation des paramètres de fermentation.....</b>	<b>26</b>
III. 5.1.1 L'effet du pH.....	26
III. 5.1.2 L'effet de la température .....	27
III. 5.1.3 L'effet de taux d'inoculum.....	27
III. 5.1.4 L'effet de la période d'incubation.....	27
III. 5.1.5 L' effet de l'âge de l'inoculum.....	27
III. 5.1.6 L' effet d'agitation.....	28
<b>III. 6. Méthode analytique.....</b>	<b>28</b>
<b>III. 6.1. L'analyse d'acide lactique.....</b>	<b>28</b>
<b>III. 6.2. Le dosage des sucres .....</b>	<b>28</b>

<b>III. 6.3. L'estimation de la biomasse.....</b>	<b>28</b>
<b>III.7 Résultats obtenu.....</b>	<b>29</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>32</b>

**Résumé**

# Remerciements

*IL N'EST JAMAIS FACILE DE FAIRE DES REMERCIEMENTS, TOUJOURS PAR  
PEUR*

*D'OUBLIER QUELQUES NOMS OU DES PROCHES, ALORS NOUS VOUS  
PRIONS DE BIEN VOULOIR NOUS EXCUSER SI LES LIGNES QUI VONT SUIVRE  
VOUS PARAISSENT INCOMPLÈTES. LES GENS QUI NOUS ENTOURENT  
SAVENT BIEN À QUEL POINT NOUS LES REMERCIONS.*

*NOUS TENONS À EXPRIMER NOTRE PROFONDE GRATITUDE ENVERS ALLAH  
POUR NOUS AVOIR GUIDÉ DANS LA RÉALISATION DE CE MODESTE  
TRAVAIL.*

*UN TRÈS GRAND REMERCIEMENT POUR NOTRE ENCADRANT DR. M. TAMINE  
POUR AVOIR D'ABORD PROPOSÉ CE THÈME ET POUR LE SUIVI  
CONTINUEL TOUT AU LONG DE LA RÉALISATION DE CE MÉMOIRE.*

*NOUS ADRESSONS NOS SINCÈRES REMERCIEMENTS AUX MEMBRES DU JURY  
DR. SOUAGUI. Y ET DR. SEDRATI. T, POUR L'INTÉRÊT QU'ILS ONT PORTÉ À  
NOTRE RECHERCHE EN EN ACCEPTANT D'EXAMINER NOTRE TRAVAIL ET DE  
L'ENRICHIR PAR LEURS PROPOSITIONS.*

*NOUS ADRESSONS NOS SINCÈRES REMERCIEMENTS À TOUS LES  
ENSEIGNANTS QUI ONT CONTRIBUÉ À NOTRE FORMATION, À QUI NOUS  
PRÉSENTONS NOTRE PROFONDE GRATITUDE.*

*MERCI*

# Dédicace

À MES TRÈS CHERS PARENTS QUI ONT TOUJOURS ÉTÉ LÀ POUR MOI, ET QUI MON  
DONNÉ UN MAGNIFIQUES MODÈLE DE LABEUR ET DE PERSÉVÉRANCE.  
J'ESPÈRE QU'ILS TROUVERONT DANS CE TRAVAIL TOUTE MA RECONNAISSANCE ET  
TOUT MON AMOUR.

POUR L'HOMME DE MA VIE ET POURQUOI JE SUIS DANS CE MONDE À LA COURONNE  
DE MA TÊTE ET MES BLESSURES BAUME

**PAPA KHALIL**

ADORABLE MÈRE QUI MA BEAUCOUP DONNÉ :

**FATIMA**

À MA BELLE SCEUR :

**MOUNIRA**

À MES CHERS ET BEAUX -FRÈRES :

**WALID ET YACINE**

À MON BEAU-FRÈRE :

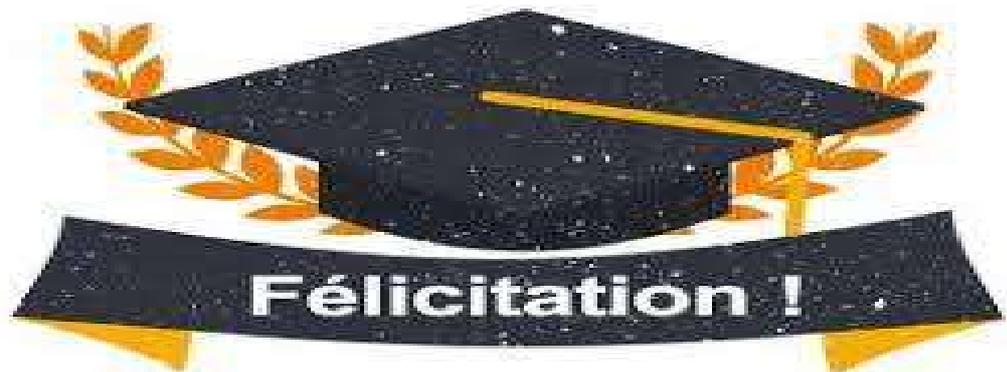
**FATHI**

À TOUTE MA FAMILLE

À TOUTE MES COLLÈGUES

À TOUTE QUI CONNAIT

**SOUHILA**



# Dédicace

---

A MES TRÈS CHERS PARENTS QUI ONT TOUJOURS ÉTÉ LÀ POUR MOI, ET QUI MON  
DONNÉ UN MAGNIFIQUES MODÈLE DE LABEUR ET DE PERSÉVÉRANCE.  
J'ESPÈRE QU'ILS TROUVERONT DANS CE TRAVAIL TOUTE MA RECONNAISSANCE ET  
TOUT MON AMOUR.

POUR L'HOMME DE MA VIE ET POURQUOI JE SUIS DANS CE MONDE À LA COURONNE  
DE MA TÊTE ET MES BLESSURES BAUME

**PAPA AHMED**

ADORABLE MÈRE QUI MA BEAUCOUP DONNÉ :

**NASSIYA**

A MON CHER FRÈRE :

**ABDELHALIM**

A TOUTE MA FAMILLE

A TOUTE MES COLLÈGUES

A TOUTE QUI CONNAIT

**MERIEM**



## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I	La composition du lactosérum	04
Tableau II	La composition de deux types de lactosérum	06
Tableau III	Les propriétés physico- chimique de l'acide lactique	13
Tableau IV	Les micro-organismes utilisés pour la production de l'acide lactique a partir des matières premières bon marché	21
Tableau V	Les principaux besoins nutritifs des micro-organismes pendant la fermentation lactique	26

## LISTE DES FIGURES

Figure 01	Composition en substances nutritives du lactosérum	04
Figure 02	Voies technologiques permettant l'obtention des principaux types de lactosérums issus de la première transformation du lait	06
Figure 03	Valorisations émergente du lactosérum	08
Figure 04	Séparation et valorisation des constituants du lactosérum	11
Figure 05	La formule structurale de l'acide lactique	12
Figure 06	Les deux isomères d'acide lactique	13
Figure 07	Les utilisations et la demande d'acide lactique	14
Figure 08	Les voies de production d'acide lactique	16
Figure 09	Les voies métaboliques des bactéries lactique homofermentaires et hétérofermentaire	18
Figure 10	Processus de production d'acide lactique à partir de lactosérum	23

## LES ABREVIATIONS

**ADP** : Adénosine 5'-diphosphate

**AL** : Acide Lactique

**ATP** : adénosine 5'triphosphate

**ATCC** : collection de cultures de type américain

**$\alpha$ -AL** :  $\alpha$ - lactoalbumine

**$\beta$ -LG** : $\beta$ - lactoglobuline

**CMC**: carboxyméthylcellulose

**DBO** : Demande Biologique en Oxygen

**EMP**: Embden – meyerhoff- parnas

**GRAS** : Generally Regarded As Saf

**gr**: Gramme

**IG**: immunoglobulines

**LAB** : les bactéries d'acide lactique

**mL**: Millilitre

**ml/L**: Milligramme par litre

**MRS** : Man, Rogosa et Sharp

**NAD<sup>+</sup>** : nicotinamide adénine dinucléotide

**NADAH** :nicotinamide adénine dinucléotide

**NF** : nanofiltration

**NRRL** : collection du service de la recherche agricole

**P** : phosphate

**pH** :Potential Hydrogen

**PLA**: polylactique

**POU**: Protéines d'organisme unicellulaires

**Rpm**: rotation par minute

**SSF** : Saccharification et fermentation simultanées

**T°** : Temperature C°

**UF**: Ultra filtration

**$\mu$ g**: Microgramm

## ملخص

يزداد الاهتمام بتشمين مصل اللبن بانتظام. حيث يشكل مصدرا واعدة للكربون والبروتينات والأملاح المعدنية. إن إنتاج حمض اللاكتيك من مصادر متعددة مثل مصل اللبن له أهمية كبيرة ، خاصة لإنتاج متعدد حمض اللاكتيك . ولهذا ركزنا هدفنا على الدراسة الببليوغرافية لتشمين مصل اللبن لإنتاج حمض اللاكتيك. كائنات حية دقيقة مختلفة قادرة على تخمير مصل اللبن ، بما في ذلك بكتيريا *Lactobacillus*. تعتبر هذه الأخيرة منتجة بشكل جيد لحمض اللاكتيك. من أجل تحسين إنتاج حمض اللاكتيك بواسطة هذه البكتيريا يجب دراسة العوامل المختلفة التي تؤثر على التخمر اللبني والتحكم فيها.

تم إجراء العديد من الدراسات حول إنتاج حمض اللاكتيك بواسطة البكتيريا *Lactobacillus* باستعمال مصل اللبن. أظهرت نتائج هذه الدراسات أن مصل اللبن مفيد لنمو وإنتاج حمض اللاكتيك. إيجاد القيم المثلى المؤثرة على عملية التخمر اللبني يحسن من إنتاج حمض اللاكتيك.

**الكلمات المفتاحية:** حمض اللاكتيك ، التخمر ، مصل اللبن ، *Lactobacillus* ، تحسين

## **Résumé**

L'intérêt que revêt la valorisation de lactosérum est soulevé régulièrement. Elle constitue une source prometteuse de carbone, de protéines et de sels minéraux. La production d'acide lactique à partir de ressources renouvelables telles que le lactosérum présente un grand intérêt notamment pour la production de polymères biodégradables d'acide lactiques. C'est dans cette lignée que nous avons focalisé notre objectif sur l'étude bibliographique de la valorisation de lactosérum pour la production d'acide lactique. Différents microorganismes sont capable de fermenté le lactosérum, parmi les quelles le genre du bactérie *Lactobacillus*, ce sont des bactéries mieux adaptées à la production, d'acide lactique. Différents paramètres influent la fermentation d'acide lactique par ces bactéries qui doivent être étudiés et contrôlés afin d'améliorer sa production.

Plusieurs études ont été réalisées sur la production d'acide lactique par des mieux souches à partir du lactosérum. Les résultats de ces études ont montré que le lactosérum est favorable à la croissance et à la production d'acide lactique. L'optimisation des paramètres qui influence la fermentation lactique améliore la production d'acide lactique.

**Mots clés :** Acide lactique, Fermentation, lactosérum, *Lactobacillus*, Optimisation

**Abstract**

The value of whey upgrading is regularly raised. It is a promising source of carbon, proteins and minerals. The production of lactic acid from renewable resources such as whey is of great interest, particularly for the production of biodegradable lactic acid polymers. It is in this context that we have focused our objective on the bibliographical study of the use of whey for the production of lactic acid. Various microorganisms are capable of fermenting whey, including *Lactobacillus*. The latter are the bacteria best suited for the production of lactic acid. Different parameters influencing lactic acid fermentation by these bacteria need to be studied and controlled in order to improve production.

Several studies have been carried out on lactic acid production by *Lactobacillus sp* from whey. The results of these studies have shown that whey is favourable for the growth and production of lactic acid. Optimisation of the parameters influencing lactic fermentation improves lactic acid production.

**Keywords:** Lactic acid, Fermentation, whey, *Lactobacillus*, Optimisation

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

---

Actuellement, le monde a connu un développement très important dans le secteur industriel tandis qu'il y a toujours des risques et des conséquences néfastes sur l'environnement et la santé publique. Pour cela, les écologistes et les biologistes se sont intéressés depuis longtemps aux procédés et techniques qui servent à limiter la pollution engendrée par les industries. Parmi ces dernières, l'industrie laitière est l'une des plus polluantes par le rejet de quantités importantes de lactosérum (**Lachebi et Yelles, 2018**). Du fait de sa richesse en élément nutritif tels que le lactose, les protéines solubles, les vitamines hydrosolubles, les matières grasses et les éléments minéraux (**Carvalho et al., 2021**). Le lactosérum constitue un excellent milieu de culture pour les microorganismes.

Pour diminuer le risque polluant du lactosérum, ce dernier est utilisé dans différents domaines tels que l'alimentation humaine, l'alimentation animale et éventuellement dans le domaine de la biotechnologie afin de produire des protéines d'organismes unicellulaires (P.O.U.), enzymes, vitamines, alcool, acides organique tel que l'acide lactique (**Boudjema et al., 2013**).

L'acide lactique est un acide organique, ayant un origine, et une longue histoire d'application dans l'industrie alimentaire, et dans la préservation de la nutrition humaine (**Cui et al., 2011**). Découvert pour la première fois dans le lait fermenté, par un scientifique Suédois C.W. Scheele en 1780, comme un composant du lait. En 1857, Pasteur a découvert que l'acide lactique n'est pas un composant du lait, mais un métabolite de fermentation généré par certaine micro-organismes (**Wee et al., 2006**). L'acide lactique est présenté sous deux formes optiquement actives, la configuration L (+) est lévogyre et la configuration D (-) est dextrogyre (**Wee et al., 2006**).

La synthèse chimique d'acide lactique, à partir de ressources pétrochimique est le résultat d'un acide lactique racémique D-L (**Quintero et al., 2012**), tandis que la fermentation est une méthode efficace et attractive pour produire un stéréo-isomère d'acide lactique sur des substrats moins chers avec des microorganismes hautement productifs et un taux de conversion élevée (**Djukic-Vukovic et al., 2012**).

La production mondiale d'acide lactique est d'environ 270 000 tonnes par an (**Alexandri et al., 2019**). Cet acide organique a une large gamme d'applications dans l'industrie alimentaire, cosmétique, chimique, pharmaceutique, et plus particulièrement dans la production d'acide polylactique (PLA) (**Cui et al., 2011**).

Il nous semble donc intéressant d'insérer notre travail dans ce contexte de recherche.

## **INTRODUCTION**

---

Le but principal de ce synthèse bibliographique est de faire une étude bibliographique sur la valorisation du lactosérum pour la production d'acide lactique par voie fermentaire.

# **CHAPITRE I**

## **LE LACTOSERUM**

## I. 1. Généralités

L'industrie laitière occupe une place importante dans la production alimentaire, avec des techniques développés, et des produits répandus comme (le fromage, le yogourt, le beurre), (Sar *et al.*, 2022). La fabrication de ses produits laitiers génèrent une quantité importante de sous produits alimentaires comme le lactosérum. Ce dernier, constitue certains problèmes pour l'environnement tel que la pollution, ce qui nécessite de le valoriser par des techniques biologiques pour la production l'acide lactique (El-Garyar *et al.*, 2020).

## I. 2. Définition de lactosérum

Le lactosérum ou le petit lait de l'industrie laitière, est un liquide opaque, verdâtre ou jaune, et représente 90% du volume original de lait (Lachebi et Yelles, 2018). Il est découvert a plus de 3000 ans par les Bédouins (Shuck *et al.*, 2004). La teneur totale en solides du lactosérum est allant de 6 à 6,5 % p/v. Il est constitué d'une phase aqueuse contient l'ensemble des éléments solubles, tel que (le lactose, les vitamines, et les protéines à forme de protéines globulaires,...) (Jouan, 2002). Grâce à leur composition biochimique, le lactosérum est considéré comme un excellent milieu de culture pour les micro-organismes (Gana *et al.*, 2001). Il est former par acidification et coagulation de lait sous chaleur (Shuck *et al.*, 2004).

## I.3. La composition de lactosérum

Le lactosérum est un substrat constitué en majorité par une grande partie d'eau avec un contenu organique, et minéral très diversifié. Il se compose principalement de lactose qui représente environ 70% de la composition totale. Le lactose est un disaccharide réducteur, et fermentescible constitué par l'association d'une molécule de D-galactose, et d'une molécule de D-glucose. Il est considéré comme une source de carbone pour les bactéries lactique (Carvalho *et al.*, 2021).

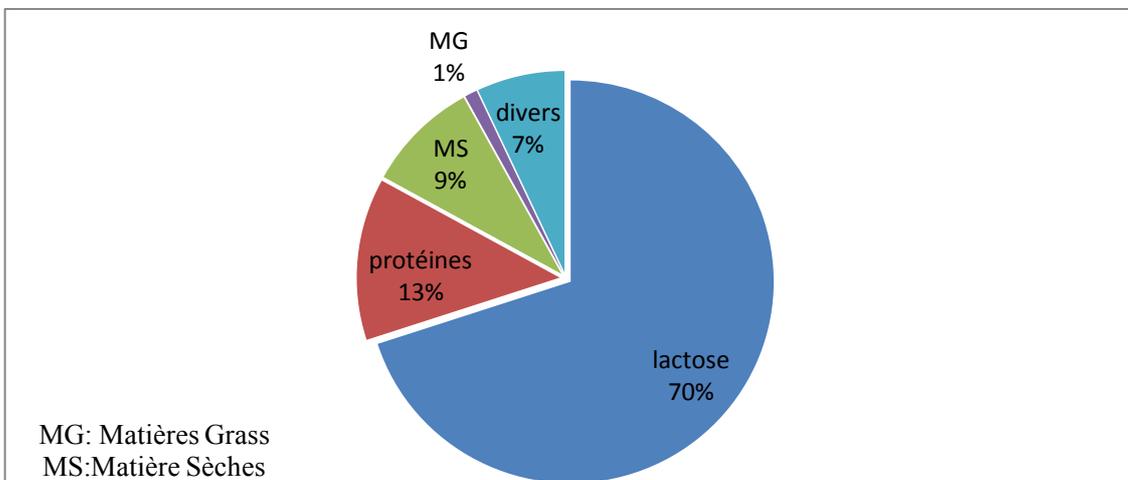
Les protéines de lactosérum sont un groupe des protéines globulaires, tel que ( $\beta$ -LG,  $\alpha$ -AL, IG...) (Carvalho *et al.*, 2021).

Le lactosérum contient également des sels minéraux, tels que le calcium, ainsi que, le sodium, et le potassium. Il peut contenir des faibles quantités d'acides lactique, et d'acide citrique (tableau I) (Jouan, 2002; Carvalho *et al.*, 2021). Il est presque dépourvu de matière grasse, (retenue dans la masse du caillé), la majorité des vitamines présent sont hydrosolubles appartenant au groupe B (Fredy Schori, 2009).

Le tableau I ,et la figure 1 représentent la composition du lactosérum.

**Tableau I:** La composition du lactosérum (Jouan ,2002).

Les composants	Concentration g/L
Lactose	4
Beta-lactoglobuline	2.7
Alpha-lactalbumine	1.2
Sérum-albumine	0.25
Caséino - macropeptide	1.20
Protéoses –peptone	0.60
Phosphate	2.5
Chlorures	1.6
Citrate	2.0



**Figure 1 :** Composition en substances nutritives du lactosérum (Fredy Schori , 2009)

**I. 4. Les types de lactosérum**

Deux sources principales permet l'obtention du lactosérum sont la fromagerie , et la caséinerie (figure 2).

La fromagerie est une technologie alimentaire qui conduit à la production d’une très grande variété de fromages, grâce à l'action de la présure , ou la chymosine , ou d'autres agents

coagulants appropriés, tels que les levains , ou ferments lactiques, permet de générer le lactosérum (**Abedi et Hachemi, 2020**).

En industrie des caséines (caséinerie), la technologie consiste à préparer des caséines à différents usages à partir du lait écrémé , qui est coagulé par voie acide en utilisant des bactéries lactiques , ou l'acide lactique , ou bien à l'aide d'acides ( $H_2SO_4$ , HCl), qui aboutit à la formation du lactosérum semblable dans sa composition à celle de la fromagerie (**Bauer et al ., 2010**) . Quelle que soit la méthode de coagulation, la filtration ou bien la centrifugation sont utilisées pour récupérer le lactosérum (**Dereli et al ., 2019**).

Ainsi, selon le procédé de coagulation de ces industries on distingue deux types de lactosérum:

#### **I.4.1. Le lactosérum doux**

Le lactosérum doux est obtenu par emprésurage du lait (présure ou chymosine), provenant des fromages à pattes molles (camembert), ou dures (cheddar et gruyère), ou de la caséine pressure dont le pH est de 6,5, semblable à celui de la coagulation induite par voie enzymatique (**Panesar et al., 2007**) .

#### **I.4.2. Le lactosérum acide**

Le lactosérum acide provient du fromage à pâte fraîches dont la coagulation a été induite par voie lactique, la caséine lactique , ou les caséines acides. Il est caractérisé par un pH inférieur à 5,0 (**Panesar et al., 2004**). Pour favorise la précipitation, la température du lait acidifié est augmentée jusqu' à 40-45°C (**Bauer et al ., 2010**) .

Il existe des variations significatives entre les concentrations des éléments entre les deux types de lactosérum (**tableau II**).

Tableau II : La composition de deux types de lactosérum (Chatzipaschali *et al.* , 2012)

Compositions	Lactosérum	
	Doux (g/l)	Acide (g/l)
/		
Solide totale	63-70	63-70
Protéines	6-10	6-8
Lactose	46-52	44-46
Gras	15	06
Lactate	02	6.4
Calcium	0.4-0.6	1.2-1.6
Phosphate	01-03	2-4.5
Potassium	0.16	0.14
Sodium	0.5	0.5

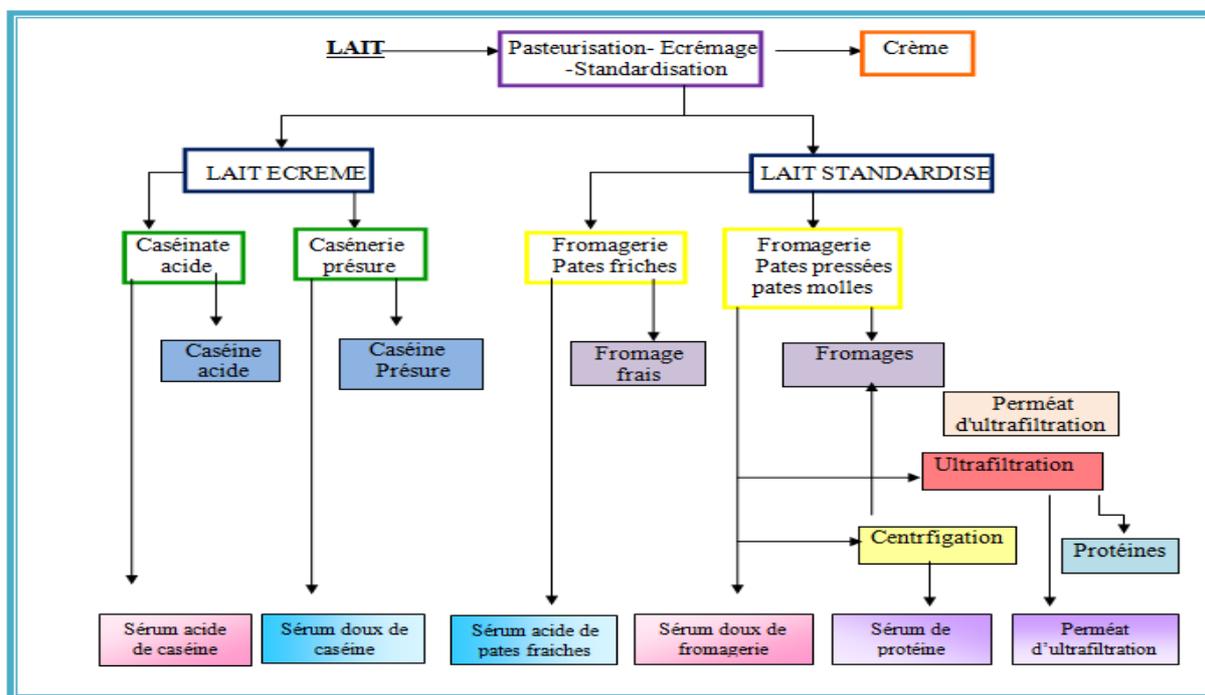


Figure 2 : Voies technologiques permettant l’obtention des principaux types du lactosérum issus de la première transformation du lait (Schuck *et al.*, 2004) .

## I. 5. Valorisation du lactosérum

Dans le passé, la plupart des fromageries et la caséinerie éliminent leurs effluents par épandage , ou par rejet direct dans les eaux réceptrices (rivières, lacs, océan, etc.), sans aucun prétraitement.

Actuellement dans le monde, environ 50% de lactosérum est utilisé . Mais, Il existe encore une forte proportion de ce lactosérum, qui est déversé ou rejeté dans les cours d'eaux urbains, ou autres sont à l'origine de la diminution de l'oxygène disponible dans l'eau , avec des demandes biologique et chimique en oxygène (DBO et DCO) élevée. La valorisation de lactosérum permet la réduction de la DBO par la transformation du lactosérum en produits ayant une plus grande valeur économique (**Lachebi et Yelles, 2018**).

Au cours des 50 dernières années, le lactosérum a été utilisé dans différentes bioconversions, par exemple, la production de biomasse microbienne utilisée comme supplément alimentaire pour animaux (**Chiara et al ., 2013**). Le lactosérum est utilisé comme complément alimentaire, et comme engrais terrestre. Les poudres de lactosérum et ses dérivés sont aujourd'hui très utilisés comme ingrédients nutritionnelles , (élaboration d'aliments diététiques, pharmaceutiques ou infantiles) (**Schuck et al ., 2004**). Le lactose récupéré peut être utilisé dans de nombreuses préparations alimentaires , (crèmes glacées, gâteaux, sauces et ses dérivés). En ce qui concerne la valorisation directe, c'est-à-dire sans transformation, il est employé comme substrat de culture pour les bactéries lactiques en charcuterie, ainsi que, dans les domaines de la confiserie, la boulangerie ou la pâtisserie. Il peut être utilisé comme substrat de culture des bactéries lactiques. Il est utilisé en biotechnologie pour la production de biogaz à l'aide de bactéries méthanogènes anaérobies, la production de bioéthanol par *Kluyveromyces marxianus* , et des cellules de *Saccharomyces* recombinantes (**Boudjema et al., 2009**) . Pour la valorisation indirecte, il y a nécessairement une hydrolyse du lactose et/ou une fermentation.

Une fois hydrolysé, le lactose propose d'intéressantes applications, particulièrement dans les confiseries, les desserts, les glaces, la biscotterie et la biscuiterie. Il peut aussi intervenir dans l'alimentation animale. D'un autre côté, la fermentation est également un moyen de valoriser le lactose. Divers produits sont obtenus par fermentation, par exemple, l'acide succinique qui est un acidifiant. D'autres produits, tels que les acides gras, l'acide acétique, l'acide propénoïque, l'acide butyrique et l'acide lactique **Boudjema et al., (2009)** . **La figure 9** montre quelques applications conventionnelles et émergentes du lactosérum.

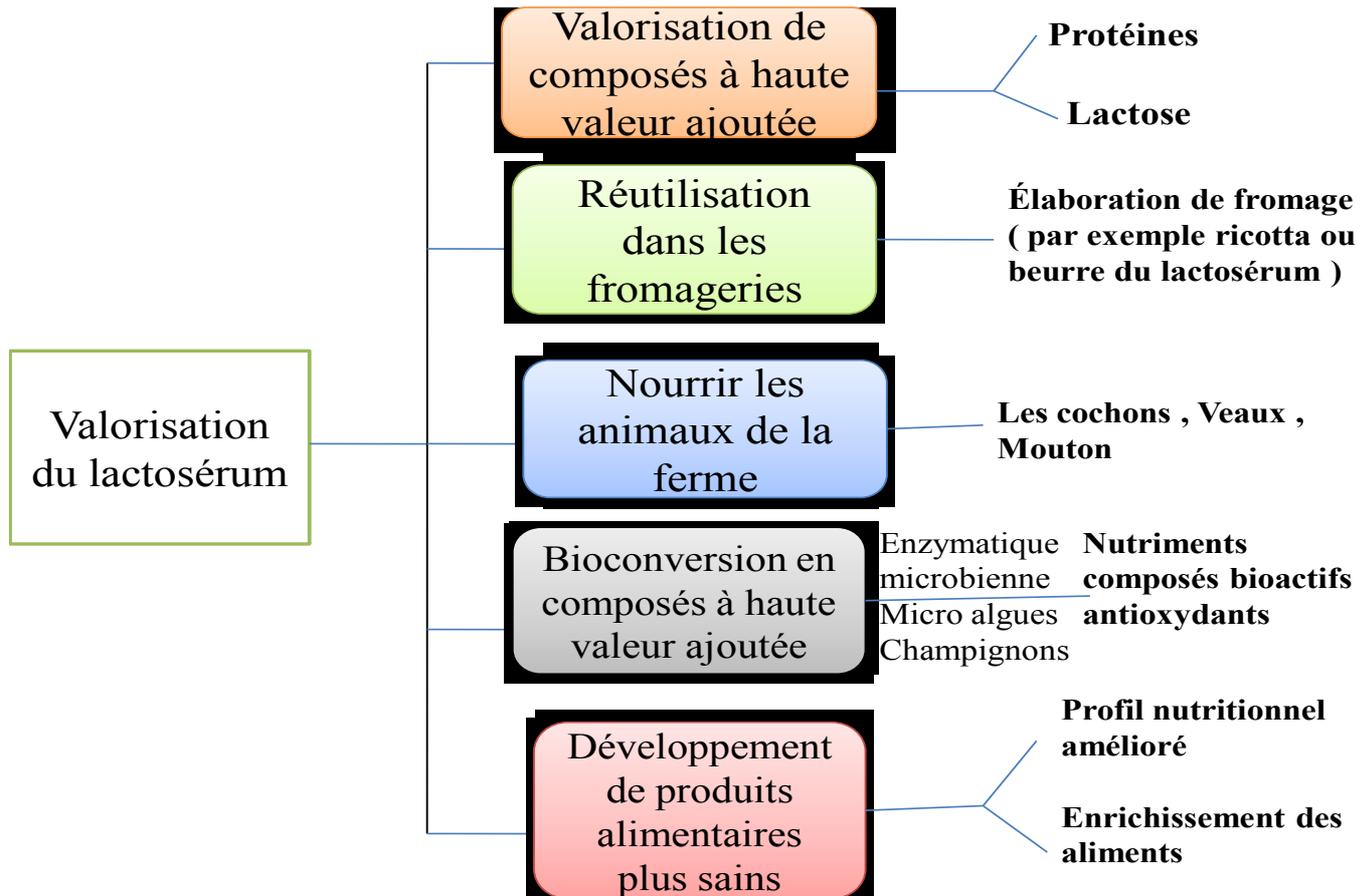


Figure 3 : Valorisation émergentes du lactosérum (Barba, 2021).

## I.6 Séparations des principaux constituants du lactosérum

### I.6.1 La déprotéinisation

Les protéines du lactosérum ou les protéines sériques ont un grand intérêt nutritionnel, grâce à leurs compositions en acides aminés essentiels. Il existe différents procédés pour isoler les protéines et protéger leurs qualités fonctionnelles parmi ces procédés: l'ultrafiltration et la chromatographie d'échanges d'ions (Chatzipaschali *et al.*, 2010).

#### I.6.1.1. L'ultrafiltration

L'ultrafiltration est sans aucun doute le procédé le plus répandu dans l'industrie laitière, elle permet de récupérer les protéines, et de les concentrer en éliminant le lactose et les sels minéraux. (Lachebi et Yelles, 2018). Lors de l'ultrafiltration, la membrane filtrante retient la presque totalité des protéines, et laisse apparaître un perméat constitué essentiellement d'eau,

de lactose et des sels minéraux. Ces procédés peuvent permettre d'obtenir des concentrés à 65% de protéines (**figure 8**) (**Chatzipaschali et al ., 2010**) .

#### *I.6.1.2. La chromatographie échangeuse d'ion*

La chromatographie échangeuse d'ion donne des isolats sont généralement riches en protéines. Les isolats sont obtenus soit par le mélange du lactosérum acidifié avec des sphères de carboxyméthylcellulose (CMC) , qui vont adsorber les protéines à pH acide. Puis, le lavage à l'eau permet l'obtention d'un lactosérum acide déprotéiné. Les protéines alors sont fixées sur le support solide , et sont presque à l'état pur.

Ou bien, les isolats sont obtenus après que le lactosérum est percolé dans une colonne remplie d'un échangeur d'ions. Si le lactosérum à traiter est un lactosérum acide (pH égale 4.6) un échangeur de cations à été utilisé car l'ensemble des protéines sont sous forme cationique. Par contre, lorsque le lactosérum est du type doux (pH égale 6.6) deux colonnes sont mises en œuvre, une remplie d'un échangeur d'anions, et l'autre d'un échangeur de cations. Les protéines de types immunoglobulines reste dans le cation et toutes les autres protéines vont se retenir par l'échangeur anionique (**Chatzipaschali et al ., 2010**) .

### **I.6.2. Extraction du lactose**

L'ultrafiltration, dont le principe est expliqué précédemment, permet de séparer les protéines du perméat de lactosérum. On obtient alors d'un côté le perméat contenant le lactose et les sels minéraux, et de l'autre le retentât où se trouvent les protéines. Cette technique est donc une méthode d'extraction du lactose, cependant elle ne permet pas d'obtenir du lactose dépourvu de sels minéraux (**Francescaet et al.,2018**) (**figure3**).

### **I.6.3. La déminéralisation**

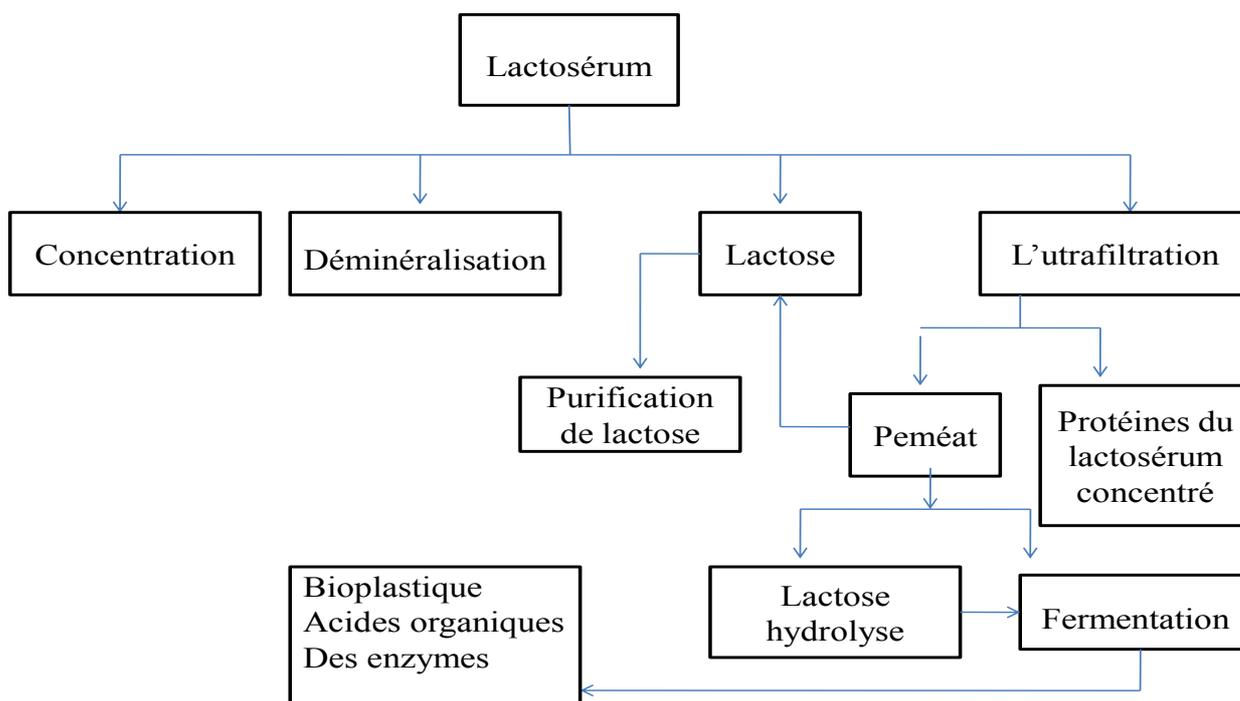
Le lactosérum a des teneurs élevé en sels minéraux, sa déminéralisation , donc est une étape essentielle pour la valorisation de ce sous-produit. La nanofiltration est la technique la plus récente pour la déminéralisation du lactosérum. Elle est très intéressante puisqu'elle déminéralise partiellement le lactosérum , et en même temps le concentre à un extrait sec d'environ 20%. Les membranes de nanofiltration sont des membranes de type composite polyamide. Généralement, la déminéralisation est couplée avec la technique d'électrodialyse après la séparation par nanofiltration (**Chatzipaschali et al ., 2010**) .

**I.6.4. L'élimination de l'eau (séchage)**

Le séchage est un procédé important, il est défini comme une opération unitaire, qui a pour but l'élimination d'eau imprègne un produit (liquide ou solide) par vaporisation, afin de le transformer en produit solide sec dont l'humidité résiduelle est très faible (**Schuck et al., 2004**).

Il existe deux grands types de procédés de séchage : Le séchoir à cylindres, ou le séchage par atomisation. Bien que la première méthode soit la moins coûteuse, cette technique peut causer, en raison de l'effet thermique, des dommages indésirables dans la plupart des applications fonctionnelles des produits de lactosérum. Le séchage de concentré de lactosérum par atomisation est devenu la méthode d'obtention des poudres la plus utilisée. La transformation des lactosérums liquides en poudre implique la combinaison de plusieurs étapes: prétraitement, déminéralisation, pasteurisation... (**Schuck et al., 2004**).

La nécessité de développer des techniques de traitement du lactosérum est impérative pour mettre à disposition du marché des produits de qualité. Ainsi, l'objectif de la déshydratation est de stabiliser ces produits, afin de pouvoir les stocker et les transporter sans qu'ils se dégradent, et les utilisent dans des différents domaines pour produire des nouvelles substances très demandées (**Schuck et al., 2004**).



**Figure 4 :** Séparation et valorisation des constituants du lactosérum (Mollea *et al.* , 2013)

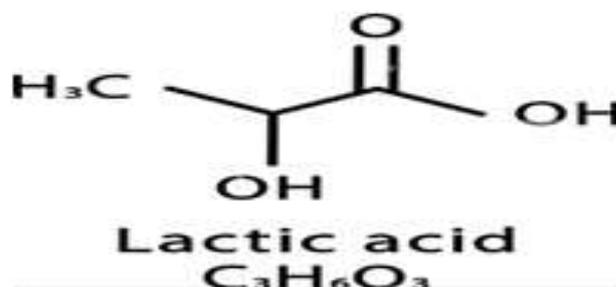
# **CHAPITRE II**

## **L'ACIDE LACTIQUE**

## II.1. Généralités

Dans la terminologie chimique moderne l'acide lactique est un acide organique  $\alpha$  hydroxycarboxylique ( **Obi et Eze , 2021** ) , son nom est dérivé du mot latin (*lac*) signifie "lait" ( **Singh et al., 2006**), les chercheurs ont convenu que l'acide lactique est un élément plus répandu dans la nature, une molécule simple , lourde et inestimable ( **Ren, 2010**). Leur obtention par le processus de fermentation microbienne représente 90% de sa production ( **Wee et al., 2006** ) .

L'acide lactique est un acide organique à trois carbones: un atome de carbone terminal faisant partie d'un groupe carboxyle, l'autre atome de carbone terminal faisant partie d'un groupe hydrocarboné ou méthyle , et un atome de carbone central ayant un groupe de l'alcool ( **Narayanan et al ., 2004**) (figure 5).

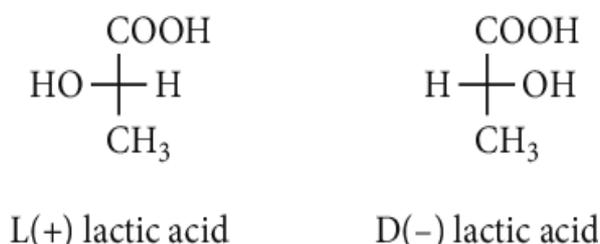


**Figure 5:** La formule structurale de l'acide lactique( **Ren, 2010**)

## II.2. Les propriétés physico- chimiques de l'acide lactique

L'acide lactique également appelé un acide alpha-hydroxy propionique pour faire référence à un groupe hydroxyle adjacent avec un groupe carboxylique ( **Ren, 2010**), répond à la formule CH<sub>3</sub>CHOH COOH, sa formule brute est C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>.

Il se présente sous deux formes isomères, la forme (D-) et la forme (L+) ( **figure 6**) qui diffèrent par l'arrangement spatial des groupes attachés à l'un des trois atomes de carbone de l'acide. L'isomère acide L(+) lactique est préféré dans les produits alimentaires, dû à la présence de L-lactate déshydrogénase dans l'être humain ,tandis que l'isomère acide D(-) lactique est parfois dangereux au métabolisme humain et peut causer un acidose et une décalcification ( **Ren, 2010**).



**Figure 6:** Les deux isomères d'acide lactique (**Pohanka, 2020**)

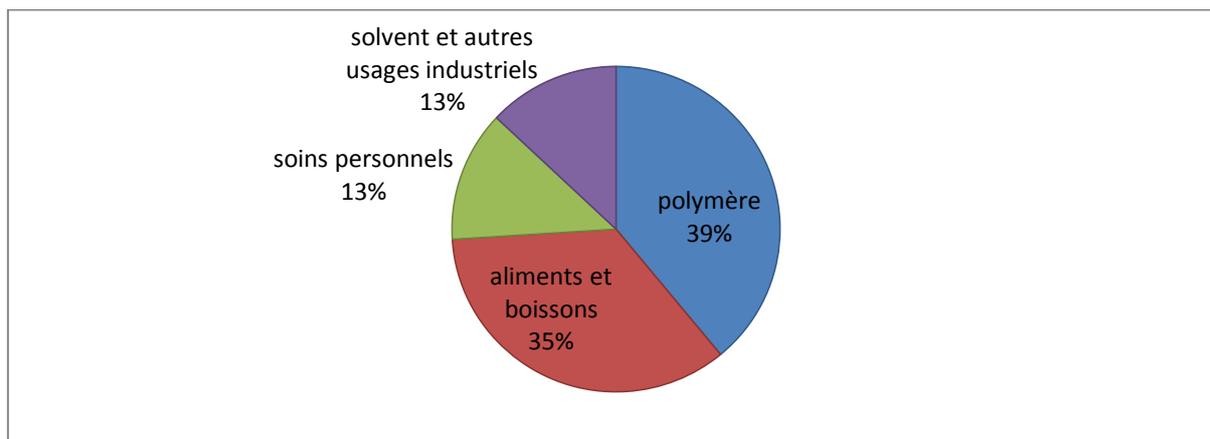
L'acide lactique est un liquide incolore ou légèrement jaune clair, sirupeux, visqueux et inodore, miscible avec l'eau, l'éthanol et l'éther. Il est utilisé dans la préparation des solutions. Il doit être conservé dans un contenant hermétiquement fermé (**Komesu et al., 2017**). Le **tableau III** représente les propriétés physico-chimiques de l'acide lactique (**Komesu et al., 2017**).

**Tableau III :** les propriétés physico- chimique de l'acide lactique (**Komesu et al., 2017**).

Les propriétés	Les unités	Les valeurs
Poids moléculaire	(mol)	90,08
Point de fusion	(C°)	52.8(D)-53.0(L) D et L 16.8(DL) racémique
Température de fusion	(K j/mol)	16.86(L) – 11.33 (DL)
Capacité thermique	J /mol.c° dans 20C°	190 (DL)
Point de l'ébullition	C ° ( à 1.87kPa)	103 ( L et D ) 122 (DL) racémique
Densité solide	g. mol <sup>-1</sup> (20c°)	1.33
Densité liquide	g. mol <sup>-1</sup> (20c°)	1.057
Aspect physique	/	Solution aqueuse

### II.3. Les applications de l'acide lactique

Au cours de ces dernières années la demande en acide lactique a considérablement augmenté principalement en raison du développement des nouvelles utilisations dans différents domaines. **La figure 7** représente les utilisations et la demande en acide lactique.



**Figure 7 :** Les utilisations et la demande d'acide lactique (**Komesu et al., 2017**)

### II. 3.1. Applications alimentaires

L'acide lactique est utilisé dans l'industrie alimentaire comme substance acide grâce à leur goût acidifiant, comme matière de conservation, agent de flaveur, régulateur de pH, et comme un agent antimicrobien pour réduire le nombre de bactéries pathogènes tel que les groupes des *Coliformes* (**Komesu et al., 2017**). Il est utilisé aussi comme un additif alimentaire E 270 que l'on trouve dans le lait et leur dérivés (**Corinne, 2006**).

### II.3.2. Applications non alimentaire

L'acide lactique est également commercialisé pour une myriade d'autres applications non alimentaires (**Komesu et al., 2017**), notamment dans :

#### II.3.2.1. Industrie des polymères

L'acide lactique peut être polymérisé en acide poly lactique. Les acides poly-lactiques sont biodégradables (**Huang et al., 2021**). Ces derniers sont utilisés comme une alternative au plastique biodégradable dérivé de matières pétrochimiques (**Bayitse, 2015**). Leurs applications sont multiples et très variées, par exemple en médecine pour la fabrication des fils résorbables et les implants biodégradables, en industrie alimentaire dans la fabrication des sacs pour remplacer le plastique conventionnel et en agriculture dans le système de relargage pour engrais et pesticides (**Ren, 2010**).

### *II.3.2.2. Industries chimiques*

L'acide lactique est considéré comme le potentiel monomère des conversions chimiques des matières premières car il contient deux groupes réactifs fonctionnels, le groupe carboxylique et le groupe hydroxyle (Ren, 2010). Il peut être transformé en éthanol, et en polymère acrylique (Komesu *et al.*, 2017).

### *II.3.2.3. Les industries du tannage et de textile*

L'acide lactique a été utilisé dans l'industrie du tannage du cuir, dans les procédés de détartrage, et dans l'industrie des textiles en tant qu'agent mordant (fixateur) (Komesu *et al.*, 2017).

### *II.3.2.4. Industrie pharmaceutique*

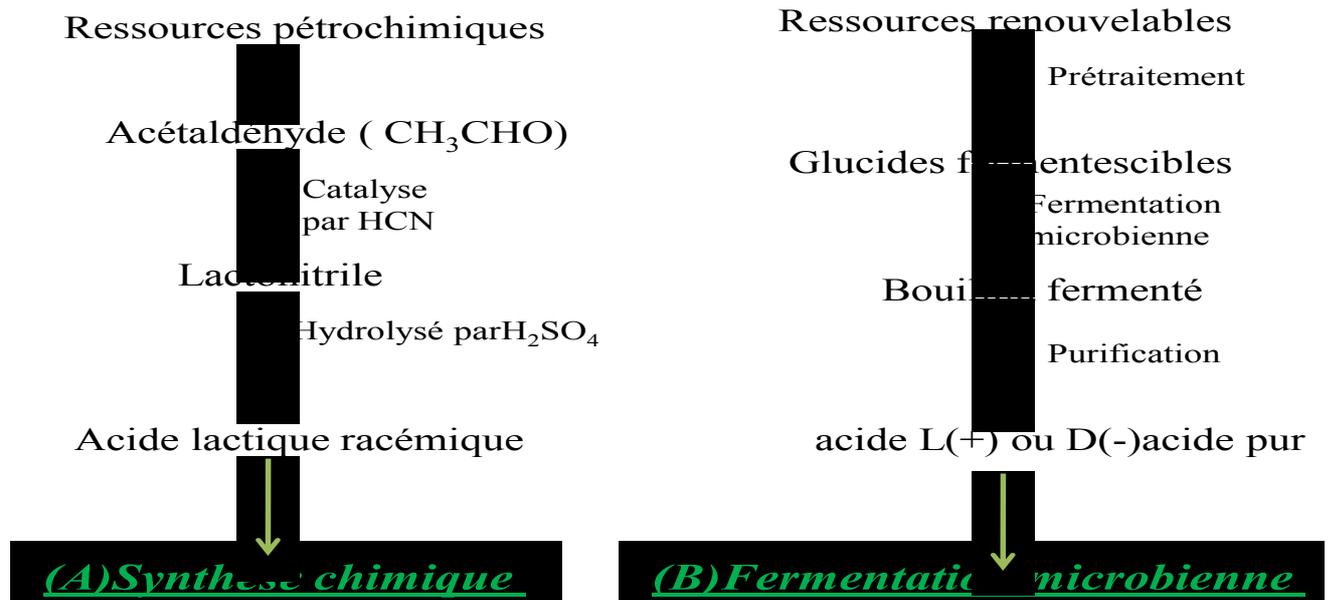
L'acide lactique est également utilisé dans l'industrie pharmaceutique, comme électrolyte dans de nombreuses solutions parentérales destinées à réapprovisionner les fluides corporels, ou les électrolytes. Par exemple les solutions de dialyse pour les machines conventionnelles à rein artificiel. En outre, l'acide lactique est utilisé dans une grande variété de préparations, notamment les comprimés, les prothèses, les sutures chirurgicales (Wee *et al.*, 2006).

### *II.3.2.5. Industrie cosmétique*

L'acide lactique offre des ingrédients naturels pour les applications cosmétiques. Bien qu'ils soient principalement utilisés comme hydratants de peau, et il a aussi une activité antimicrobienne (Wee *et al.*, 2006).

## **II.4. La production d'acide lactique**

L'acide lactique peut être synthétisé soit par voie chimique soit par fermentation microbienne (figure 8).



**Figure 8 :** Les voies de production d'acide lactique : (a) synthèse chimique (b) fermentation microbienne ( Wee *et al.* , 2006)

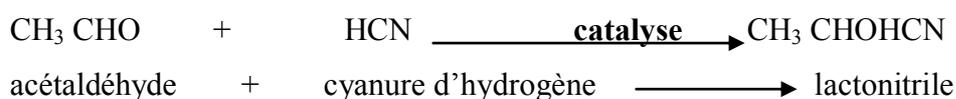
#### II.4.1. La production par voies chimique

La synthèse chimique de l'acide lactique est basée sur le lactonitrile. Ce dernier est produit par l'ajout de cyanure d'hydrogène à l'acétaldéhyde en présence d'une base, cette réaction se produit en phase liquide à des pressions atmosphériques élevées. Le lactonitrile est récupéré et purifié par distillation, puis il est hydrolysé par l'utilisation des acides forts: l'acide chlorhydrique concentré ou bien H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> qui aboutissent à la formation des sels d'ammonium et d'acide lactique (Narayanan *et al.* , 2004) .

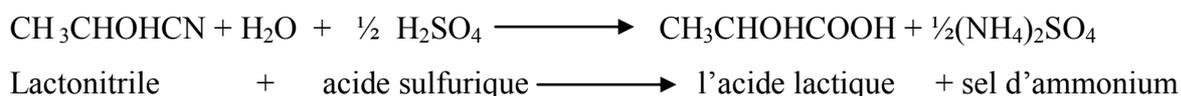
L'acide lactique ensuite estérifié avec du méthanol pour produire de l'acide lactique et du méthanol. Dans la fin de cette synthèse un mélange racémique d'acide lactique D et L est produit (Narayanan *et al.* , 2004) .

Les étapes de cette voie de synthèse sont représentées par les réactions suivantes :

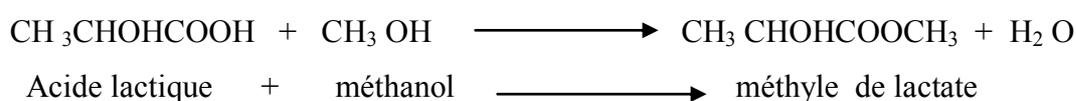
**a) L'ajout de cyanure d'hydrogène**



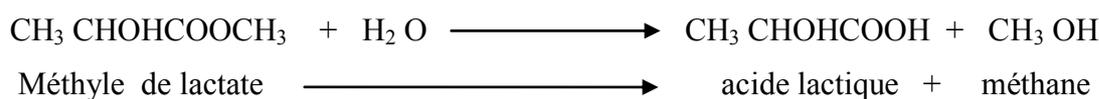
**b) Hydrolyse par  $\text{H}_2\text{SO}_4$**



**c) Esterification**



**d) Hydrolyse par  $\text{H}_2\text{O}$**



Bien qu'il existe différentes méthodes de production d'acide lactique par voies chimiques, l'utilisation de lactonitrile comme matière première reste la meilleure méthode car elle a de moindres inconvénients et elle est moins chère par rapport aux autres. La synthèse chimique d'acide lactique a commencé pour la première fois en 1963 à Monsanto aux États-Unis (**Komesu et al., 2017**).

#### 4.2. La production par voie fermentaire

Aujourd'hui, 90% de l'acide lactique total est produit par fermentation. La synthèse de cet acide par voie fermentaire permet de produire le stéréo-isomère d'acide lactique désiré grâce à l'utilisation de bactéries lactiques homofermentaires (**Komesu et al., 2017**).

Les microorganismes généralement utilisés pour la production d'acide lactique sont des bactéries homofermentaires ne produisant qu'un seul isomère optique D(-) ou L(+) de l'acide lactique.

Les bactéries lactiques sont divisées en deux groupes principaux des espèces homo- ou hétérofermentaires selon la nature et la concentration des produits terminaux issus de la fermentation du glucose. Les bactéries lactiques homolactiques utilisent la voie de

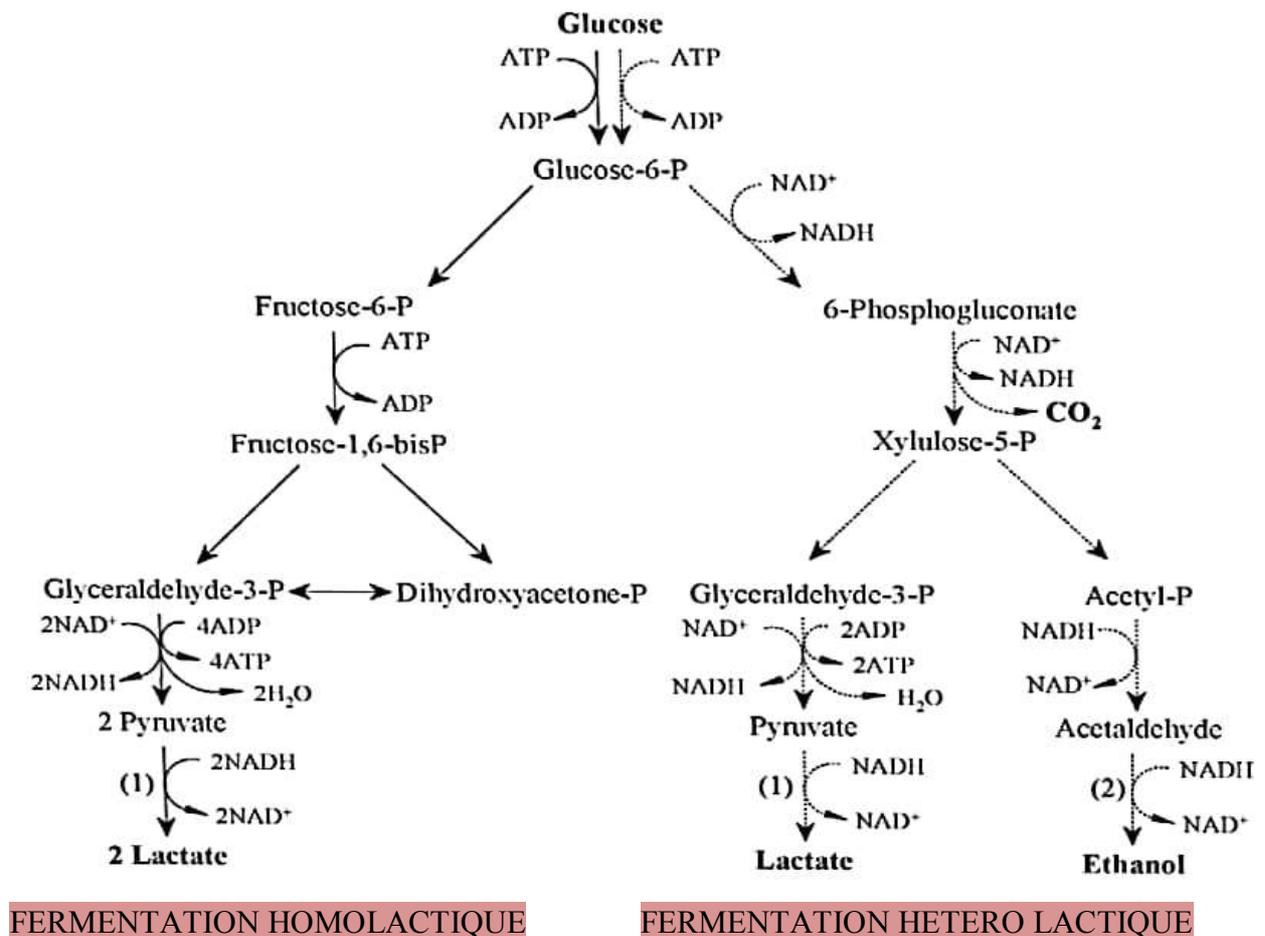
la glycolyse Embden-Meyerhoff-Parnas, EMP) et les hétérofermentaire utilisent la voie des pentoses-phosphate (**Huang et al., 2021**).

II. 4.2.1. La fermentation homolactique

Les bactéries lactiques homofermentaires (*Lactococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus* et quelques espèces de *Lactobacillus*) convertissent presque le glucose en excès en acide lactique. Cette voie conduit dans des conditions optimales de croissance à la production de deux molécules de lactate et deux molécules d'ATP par molécule de glucose consommée (**figure 8**) (**Daniel et al., 2021**).

II.4.2.2. La fermentation hétéro lactique

Chez les bactéries hétérofermentaires comme *Leuconostoc*, *Oenococcus*, et certaines espèces *Lactobacillus*, le lactose fermenté est transformé en acide lactique, et d'autres produits issus de cette transformation sont: l'acide acétique, du CO<sub>2</sub> et éventuellement de l'alcool. (**figure 8**) (**Daniel et al., 2015**).



**La figure 9** : Les voies métaboliques des bactéries lactique homofermentaires et hétérofermentaire (Wee *et al.* , 2006).

## II.5 .Les microorganismes producteurs d'acide lactique

L'acide lactique peut être produit par divers microorganismes tels que les bactéries (*Lactobacilles*), les champignons (*Rhizopus*). Ces microorganismes sont caractérisés par leurs capacité à fermenter les glucides en produisant de l'acide lactique (**tableau III**) (Narayanan *et al.* , 2004 )

### II.5.1. Les bactéries

Les bactéries lactiques sont des bactéries à Gram-positif qui regroupent 12 genres bactériens dont les plus étudiés sont *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus* et *Pediococcus*. Ces bactéries peuvent avoir des formes de bâtonnet ou de coque, sont immobiles et ne sporulent pas. Elles ont également un métabolisme aérobie facultatif et ne produisent pas de catalase ( **Drouault et Corthier, 2001**). Orla Jensen est considérée comme la première chercheuse qui a défini le groupe des bactéries lactiques en 1919 (Wee *et al.* , 2006).

Les bactéries lactiques ont en commun la capacité de fermenter les sucres en acide lactique lors de la fermentation. Elles peuvent être beaucoup plus efficaces que les champignons Elles sont divisées en deux grands groupes: homofermentaires car elles produisent très majoritairement de l'acide lactique alors que d'autres sont dites hétérofermentaires et produisent de l'acide lactique en même temps que d'autres composés (acétate et éthanol en général) (**Drouault et Corthier, 2001**). Les bactéries lactiques utilisées dans l'alimentation sont considérées comme non pathogènes et sont attribuées comme organismes GRAS (Generally Regarded As Safe) (**Singh *et al.*, 2006**). Elles sont utilisées comme culture starter dans les fermentations alimentaires industrielles, en raison de leur tolérance, et leur rendement élevé en acide lactique. Elles peuvent être conçu pour produire de façon sélective de l'acide L/D-lactique (**Abedi et Hachemi, 2020**).

Plusieurs souches modifiées génétiquement ont été utilisées pour la production d'acide lactique. La souche *E. coli* est une bactérie a Gram- appartenant à la famille des *Enterobacteriacia*. Elle est capable de produire l'acide lactique par fermentation des sucres

simples avec la production d'un mélange d'acides organiques (éthanol) après la manipulation génétique (Abedi et Hashemi, 2020).

### II.5.2. Les champignons

La plupart des recherches sont portées sur la production d'acide lactique par des bactéries lactiques. Mais il existe d'autres microorganismes producteurs d'acide lactique, tel que les champignons. Ils sont également capables de produire cet acide organique dans des conditions aérobies, à partir des différentes sources de carbone (Wee *et al.*, 2006).

Les Rhizopus (*R. oryzae*, *R. arrhizae*) sont des genres de zygomycètes. Ils ont été utilisés comme agents de fermentation dans la production alimentaire grâce à leur activité enzymatique dégradable (Gryganskyi *et al.*, 2018), qui leur permet de transformer directement l'amidon en acide (L+) lactique (Wee *et al.*, 2006). Ils n'ont pas besoin d'un simple milieu pour une croissance filamenteuse ou granulaire dans le milieu de fermentation qui facilite sa séparation du bouillon de fermentation et rend le processus final moins coûteux (Gryganskyi *et al.*, 2018).

### II.5.3. Les levures

*Saccharomyces cerevisiae* est l'un des microorganismes les plus utilisés pour la production d'acide lactique, en raison de sa tolérance élevée à des valeurs basses de pH. Elle peut être développée en condition aérobie sur différents substrats en produisant efficacement de l'acide lactique (Abedi et Hashemi, 2020).

*Candida sonorensis*, *Candida boidinii* sont des levures méthylophiles qui peuvent fermenter l'hexose (glucose) pour produire l'acide lactique. Elles tolèrent les milieux acides, et nécessitent un milieu de croissance simple (Abedi et Hashemi, 2020).

**Tableau IV:** Les micro-organismes utilisés pour la production de l'acide lactique a partir des matières premières bon marché (Abedi et Hashemi, 2020)

Les souches	La quantité de AL g/l	Productivité g/(L/h)	Les substrats
<i>L. delbruckii</i> NCIMB8130	90.0	3.8	Mélasses
<i>L. rhamnus</i> ATCC 10863	67	2.5	Glucose
<i>L. helveticus</i> ATCC15009	65.5	2.7	Galactose
<i>L. bulgaricus</i> NRRLB-548	38.7	3.5	Lactose
<i>L. casei</i> NRRLB-441	82.0	5.6	Glucose
<i>Streptococcus sp</i>	66.5	3.38	mélange des déchets d'alimentations
<i>R. oryzae</i> ATCC523	83.0	2.6	Glucose
<i>R. oryzae</i> NRRL 395	104.6	1.8	Glucose
<i>E.coli</i>	75	1.18	Mélasses
<i>saccharomyces cerevisiae</i> recombinant	60.3	2.8	/
<i>Candida sonorensis</i>	92	4.9	Glucose

AL : acide lactique /L :Lactobacillus / R : Rhizopus / E : Escherichia

## II. 6. Matières premières utilisées pour la production d'acide lactique

Il est connu que la production d'acide lactique se fait par conversion des glucides par fermentation microbienne , dans des conditions anaérobies (Obi et Èze, 2021). Actuellement, le coût du sucre a augmenté, donc il est très important d'utiliser une matière première bon marché pour réduire le coût de production. Les matières premières utilisées pour les fermentations doivent être peu coûteuse, disponible, nécessitent peu ou pas de prétraitement, génèrent peu ou pas des coproduits après le prétraitement aussi de faible pouvoir à être contaminer (Wee *et al.*, 2006).

### II.6.1. Les monosaccharides et les disaccharides

Les sources de sucre contenant des disaccharides (lactose et saccharose), des pentoses (xylose et arabinose) ,ou bien des hexoses (glucose, fructose et galactose) peuvent être utilisées pour la production d'acide lactique (**Farooqi et al., 2019**). Dans cette catégorie de source on trouve les déchets de l'industrie agroalimentaire qui fournissent des sous-produits principaux pour la production de l'acide lactique tel que les mélasses et le lactosérum (**Sar, et al., 2022**). Le lactosérum est le principal sous-produit de l'industrie laitière forme un problème de pollution majeure dans l'environnement. Il contient une teneur élevée en lactose qui peut être hydrolysé en glucose et galactose (**Abedi et Hashemi, 2020**). Les mélasses contiennent une teneur élevée de saccharose, ils sont abondants avec un prix bas (**Kotzamanidis et al., 2002**).

### II.6.2. Les polysaccharides

Les matières amidonnées et cellulosiques ont reçues beaucoup d'attention car elles sont bon marché, abondants et renouvelables (**Wee et al., 2006**). Ces substrats contiennent des polysaccharides doivent subir un prétraitement afin d'obtenir des monomères de glucides fermentescibles (**Farooqi et al., 2019**) .

Les matières lignocellulosiques sont abondants, elles comprennent les résidus agricoles (poêle à maïs, bagasse et enveloppe de riz), des résidus forestiers (sciure), des portions de déchets solides municipaux . Elles sont composées principalement de cellulose, d'hémicellulose et de la lignine. (**Abedi et Hashemi, 2020**).

Les déchets de papier prétraités, produisent des monomères de glucose peuvent être utilisé comme source d'énergie pour la croissance de champignon *Rhizopus* pour produire l'acide lactique (**Farooqi et al., 2019**) .

La liqueur de maïs est un produit secondaire du déchet alimentaire. Elles contient des éléments nécessaires pour la croissance bactériennes, elle est considérées comme sources d'azote et elle est utilisé pour la production de l'acide lactique (**Wee et al., 2006**).

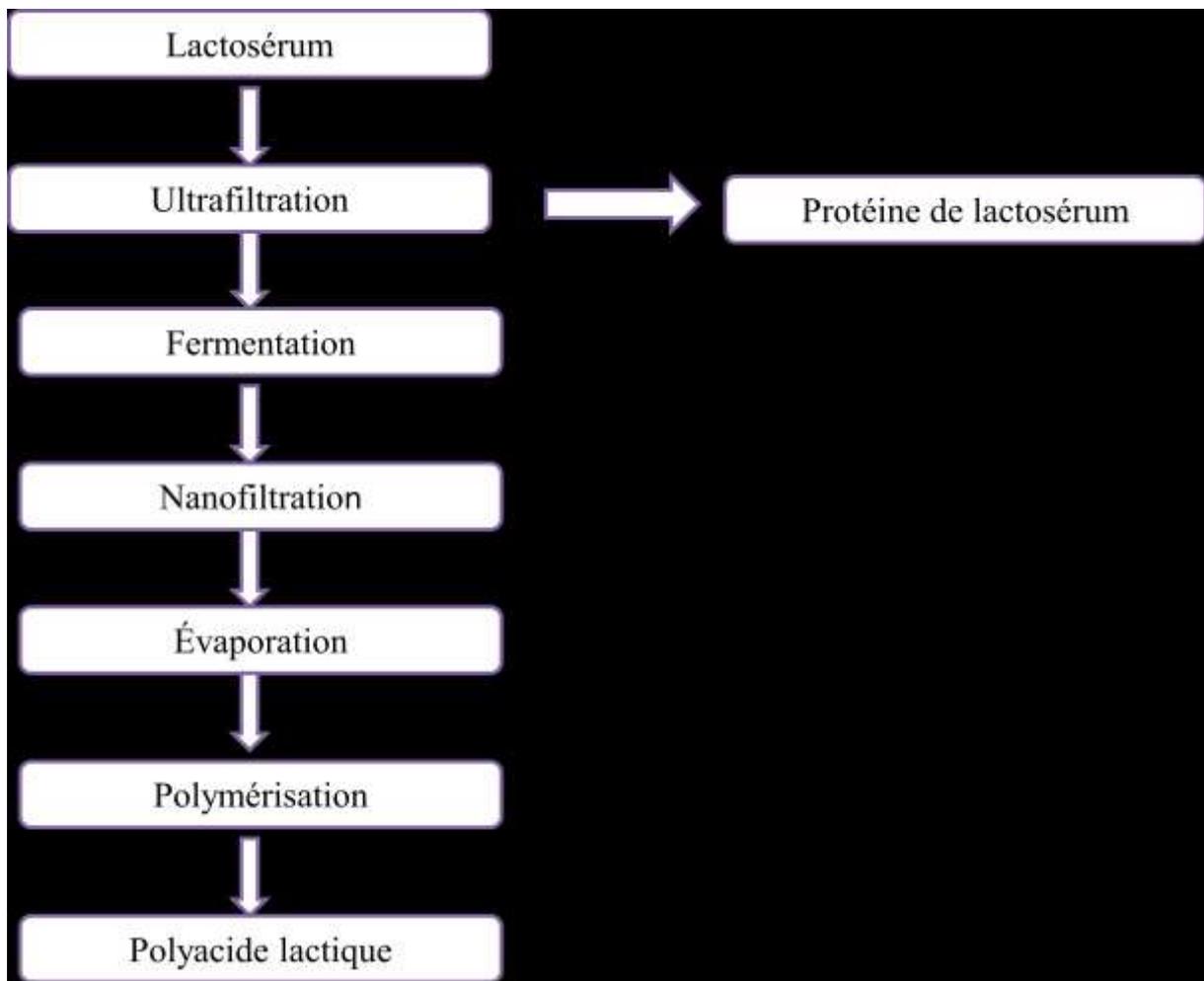
Le processus de saccharification fermentation simultanées (SSF) (Simultaneous saccharification and fermentation) implique l'ajout des enzymes comme les cellulases ou les amylases pour hydrolyser la cellulose ou l'amidon en fournissant le glucose nécessaire durant la fermentation lactique (**Martinez et al., 2013**).



**CHAPITRE III**  
**PROCEDES DE**  
**PRODUCTION D'ACIDE**  
**LACTIQUE**

### 1. Généralités

La production industrielle de l'acide lactique est généralement basée sur la voie fermentaire, et/ ou le procédé de fermentation lactique, qui a été réalisé en cultures pures contenant tous les éléments essentiels à la croissance des micro-organismes, comme il est représenté dans le **tableau V**. Les fermentations sont réalisées dans des fermenteurs (discontinus ou continus), avec ou sans recyclage des cellules. Différents paramètres physico-chimiques affectent la fermentation lactique, tel que la température, le pH, l'aération, et l'agitation qui doivent être régulés, et étudiés pour améliorer la production d'acide lactique (**Georges et François, 2008**). Un exemple de processus complet de production d'acide lactique à partir du lactosérum est illustré dans la **figure 10**.



**Figure10** : Production d'acide lactique à partir de lactosérum (**Sharjeel et al ., 2019**).

Les microorganismes utilisés pour les fermentations industrielles doivent porter plusieurs caractères, tel que leurs capacité de fermenter les hexoses (**Bernardo et al., 2016**), d'utiliser des sucres issus des matières premières bon marché, d'utiliser une petite quantité d'azote, de fournir un rendement élevé de L-acide lactique dans des conditions de pH et de température élevés, de produire une masse cellulaire faible et de quantités négligeables des sous-produits (**Narayanan et al., 2004**).

On développons dans ce chapitre le procédé de production d'acide lactique par des souches de *Lactobacillus* sur le lactosérum. Pour cela on va prendre comme exemples trois études qui ont été réalisé par **Panesar et al., (2010)** **Bernardo et al., (2016)**, **Patel et Parikh, (2016)**, dans ce contexte de recherche.

Les résultats de production d'acide lactique obtenus dans ces études seront représentés dans le chapitre IV.

## 2. Préparation de la préculture

Les bactéries sont conservées au congélateur dans un milieu qui a été additionné de 20% de glycérol. La préculture de *Lactobacillus casei* NBIMCC 1013, et de *Lactobacillus* isolé à partir de produits laitiers locaux a été préparée par cultivation des cellules bactérienne (cultures stock) dans des erlenmeyers de 250 ml contenant 50 ml de MRS. L'incubation est réalisée pendant 24 h à 37°C (**Panesar et al., 2010; Patel et Parikh, 2016**). *Lactobacillus rhamnosus* B103 est cultivé dans le milieu MRS dans des erlenmeyers de 150 ml pendant 18 h à 37°C (**Bernardo et al., 2016**).

## 3. Préparation de lactosérum

Le traitement des matières premières est une étape cruciale dans le processus de conversion biologique qui influe le coût de production (**Abedi et Hachemi., 2020**).

**Patel et Parikh (2016)**, ont obtenus le lactosérum par l'ajout de lactate de calcium dans des conditions d'ébullition, pour maintenir la portion protéique du lait. Les protéines coagulées ont été séparées du lactosérum par filtration, afin d'obtenir le lactosérum liquide déprotéiné.

**Panesar et al., (2010)**, ont utilisé le lactosérum en poudre. Ce dernier est reconstitué à raison de 6 %, p/v avec de l'eau distillée, pour préparer un lactosérum liquide ayant une

concentration de lactose de 4 % (p/v). La clarification du lactosérum a été effectuée par précipitation protéique induite par le chauffage du lactosérum à 90 °C pendant 20 min. Les protéines précipitées ont été éliminées par centrifugation à 4 000 tr/min pendant 15 min.

Dans l'étude de **Bernardo *et al.*, (2016)**, qui ont utilisé le lactosérum poudre contenant 60 % (m/V) de lactose après la déprotéinisation. Un chauffage à 100 C° pendant 15 minutes a été appliqué suivi d'un refroidissement à une température ambiante. La solution résultante est centrifugée à 10000 g par la suite pour éliminer les particules solides, et le surnageant restant est dilué pour atteindre la concentration de lactose désirée.

Le lactosérum préparé par les différentes méthodes est utilisé comme milieu de production d'acide lactique par *Lactobacillus* (**Panesar *et al.*, 2010; Bernardo *et al.*, 2016; Patel et Parikh, 2016**).

#### 4. Le milieu de fermentation

Les lactobacilles sont les microorganismes les plus fréquemment utilisées pour la production d'acide lactique. Les propriétés technologiques apportées par ces bactéries sont nombreuses parmi elles, l'activité acidifiante, mais ont par contre des exigences nutritionnelles plus importantes (**Ren, 2010**).

*Lactobacillus* est une souche productrice d'acide lactique peut capturer différentes sources de carbone renouvelables, pour sa croissance tel que le lactosérum qui est riche principalement en lactose. **Georges et François, (2008), Patel et Parikh, (2016) et Panesar *et al.*, (2010)**, ont enrichi le milieu de lactosérum par l'extrait de levure (0,75 %, p/v), le sulfate de manganèse (20 mg/L), et le carbonate de calcium (1,5 %, p/v). Le milieu de culture et les solutions à ajouter sont stérilisés séparément à 121°C pendant 20 min.

**Bernardo *et al.*, (2016)**, ont réalisé des fermentations de type batch et fed-batch. Ils ont utilisé un milieu de production qui se compose de 60 g/L de lactose à partir du lactosérum (90 g/L des sucres réducteurs), supplémenté par 45 g/L de la liqueur de maïs, 1 ml de tween 80 et de 0,075 g/L de sulfate de manganèse. Le milieu d'alimentation a été constitué de 500 g/L du lactose à partir de lactosérum, et de 7,5% de la liqueur de maïs.

**Le tableau V** représente quelques besoins nutritifs des bactéries lactiques pendant la fermentation lactique en utilisant le lactosérum comme source de carbone.

**Tableau V** : Les principaux besoins nutritifs des micro-organismes pendant la fermentation lactique (Georges et François, 2008)

Les sources	Exemples
Source de carbone	<i>Lactosérum</i>
Source d'azote	<i>Extraits de levures /hydrolysats de caséine</i>
Vitamines et des facteurs de croissances	<i>Vitamine du groupe B</i>
Les sels minéraux	<i>Ca, Mg ,Fer</i>

## 5. La fermentation

Les fermentations de **Bernardo et al., 2016** ont été effectuées dans un fermenteur à 5L avec un volume réactionnel de 1,5 L. Les valeurs de température, d'agitation et de pH sont 37°C, 200 rpm et 6,2 successivement. Le pH a été ajusté par l'utilisation de 10 N NaOH.

Différents paramètres de processus doivent être optimisés pour améliorer l'utilisation du lactose et la production d'acide lactique à partir du lactosérum.

Pour les fermentations Fed batch , deux impulsions ont été faites: une après 24 h de fermentation , et l'autre après 48 h de fermentation. Chaque impulsion a un flux de 30 ml/min et la dernière a duré 2 min et 18 s.

Plusieurs paramètres influencent le processus de fermentation de lactosérum par *Lactobacillus rhamnosus* B103 , et *Lactobacillus* isolé à partir de produits laitiers locaux , tel que le pH, la concentration de la source de carbone, l'âge d'inoculum, le taux d'inoculum, la température, l'agitation , et le temps d'incubation ont été optimisés en faisant varier les paramètres respectifs afin d'améliorer la production d'acide lactique (**Panesar et al ., 2010 ; Patel et Parikh, 2016**).

### 5.1. Optimisation des paramètres de fermentation

#### 5.1.1. Effet du pH

Pour optimiser le pH, **Patel et Parikh, (2016)**, ont ajusté le milieu de fermentation (eau de lactosérum) à cinq pH différents (5, 6.0, 6.5, 8). Les fermentations sont réalisées sous

agitation de 150 rpm à 37°C. La production d'acide lactique a été vérifiée pour chaque pH après 24 h de fermentation.

**Panesar et al ., 2010**, ont étudié l'effet de pH en utilisant des milieux de fermentation ayant des pH variant de 5 à 6,8.

#### *5.1.2. Effet de la température*

La température est un facteur important qui influence la production d'acide lactique. Pour optimiser ce facteur **Patel et Parikh, (2016)**, ont testé cinq températures différentes (30, 35, 37, 40 et 45°C) sous agitation de 150 rpm pendant 24 h de fermentation.

Pour optimiser la température de fermentation d'acide lactique **Panesar et al ., (2010)** ont réalisé des fermentations à des différentes températures comprise entre 30 et 45 °C.

#### *5.1.3. Effet de taux d'inoculum*

L'influence de taux d'inoculum sur la production d'acide lactique par *Lactobacillus* a été étudiée (**Panesar et al ., 2010 ; Patel et Parikh, 2016**). Pour cela, différents niveaux d'inoculum (1-5 %, v/v) ont été additionnées au milieu de fermentation et la production d'acide lactique a été estimée après 24 h d'incubation.

#### *5.1.4. Effet de la période d'incubation*

Pour déterminer le temps d'incubation optimal pour une consommation maximale du lactose , et une production maximal d'acide lactique, les milieux de cultures de lactosérum sont inoculés puis incubés pendant 48 h sous les conditions optimisées. Des échantillons ont été prélevés chaque 6 h de fermentation (**Panesar et al ., 2010**).

Dans les études réalisées par **Patel et Parikh (2016)**, les milieux de culture sont inoculés par la souche bactérienne , et incubé pendant 24h, 48h, 72, 96h et 120 h dans les conditions optimisées afin d'optimiser la période d'incubation qui vas donner la meilleur concentration en acide lactique.

#### *5.1 .5. Effet de l'âge de l'inoculum*

**Panesar et al ., 2010** , ont testé l'effet d'âge d'inoculum sur la production d'acide lactique par l'utilisation d'une préculture d'un âge de 16 h et d'une autre de 28 h.

### 5.1.6. Effet d'agitation

**Panesar et al ., (2010)**, ont étudiés l'effet de l'agitation sur la production d'acide lactique par la culture bactérienne, des cultures ont effectuées sous les conditions stationnaire (témoin) dans un incubateur et d'autres en condition d'agitation (100 rpm) dans un agitateur.

## 6. Méthodes analytique

### 6.1. L'analyse d'acide lactique

L'acide lactique a été mesuré par la méthode modifiée de Barker et Summerson,( 1941). L'acide lactique a d'abord été oxydé avec une forte solution d'acide sulfurique en acétaldéhyde, puis il a été couplé avec du p-hydroxydiphényle en présence d'ions cupriques, pour produire un composé pourpre. L'absorbance du composé pourpre a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 560 nm (**Patel et Parikh, 2016**).

**Panesar et al ., (2010)** ont utilisé le système de chromatographie en phase liquide (HPLC) à haute performance, et avec peu de modifications pour le dosage de l'acide lactique.

**Bernardo et al ., (2016)**. ont déterminée à l'aide la concentration d'acide lactique par un système de chromatographie en phase liquide ( HPLC) à haute performance équipée d'un détecteur UV à 210 nm , et avec colonne à1 mm de Cu So4 comme phase mobile et un débit de 1,00 ml /min.

### 6.2. Le dosage des sucres

Les sucres réducteurs ont été mesurés par **Bernardo et al ., (2016)**, à l'aide de la méthode de l'acide 3,5 dinotrosalicylique. L'intensité des couleurs a été mesurée dans le spectrophotomètre UV-vit à 540 nm. En effet, **Panesar et al ., (2010)** ont utilisé les kit enzymatiques pour l'estimation du lactose résiduel.

### 6.3. L'estimation de la biomasse

La croissance cellulaire a été déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre à 650 nm (**Panesar et al ., 2010; Bernardo et al ., 2016; Patel et Parikh; 2 016**).

### III.7. Résultats obtenu

Des fermentations de type batch et fed-batch ont été réalisées par **Bernardo *et al.*, (2016)**. Après 48 h de fermentation de type batch, une concentration maximale d'acide lactique de 57 g/L, une concentration final des sucres réducteurs de 21,75 g/L, et une concentration de biomasse de 4,79 g/L ont été obtenues. Pour les fermentations de type Fed-batch, une concentration plus élevée d'acide lactique a été obtenue (106,20 g/L), après 60 h de fermentation. En outre, la concentration des sucres réducteurs était de 5,30 g/L inférieure à celle obtenue en culture batch (21,75 g/L) (**Bernardo *et al.*, 2016**).

Aussi, les deux chercheurs **Panesar *et al.*, (2010)** ; **Patel et Parikh (2016)** ont étudiés les effets des facteurs physico-chimiques sur la production d'acide lactique et voilà les résultats qu'ils ont obtenu:

#### III.7.1. L'effet de pH

La valeur maximale d'acide lactique 38,86 g/L a été observée à pH 6,5 après 24h de fermentation, avec une teneur maximale de conversion du lactose de 95%, p/v. Cependant, à pH 5,5 la quantité d'acide lactique obtenu à la fin de processus est de 33,48 g/L. D'après ces résultats le pH 6,5 a été considéré comme le pH optimum pour une production maximale d'acide lactique (**Panesar *et al.*, 2010**).

#### III.7.2. L'effet de température

La température est un facteur important influant l'activité métabolique des enzymes cellulaires. La température optimale pour la croissance des bactéries lactiques varie entre 20 et 45°C. Dans les études menées par **Panesar *et al.*, (2010)** et **Patel et Parikh (2016)**, la production maximale d'acide lactique 33,72 g/L a été observée à 37°C. D'après ces résultats les températures entre 37-40°C ont été considérées comme optimales pour la conversion du lactose en acide lactique à l'aide de cellules bactériennes.

#### III.7.3. L'effet de taux de l'inoculum

La production d'acide lactique augmente avec l'augmentation du taux de l'inoculum en s'élevant à 2 % (v/v). Un taux d'inoculum de 2 à 4 % (v/v), permet une production maximale d'acide lactique de 32,16 g/L par *Lactobacillus casei* NBIMCC 1013 (**Panesar *et al.*, 2010**), et 33,72 g/L par *Lactobacillus* isolé à partir de produits laitiers locaux (**Patel et Parikh, 2016**). Selon ces résultats, un taux d'inoculum de 4 % (v/v) pourrait être considéré comme

optimal pour atteindre une production maximale d'acide lactique à l'aide d'une préculture de 24 h. (Panesar *et al.* , 2010; Patel et Parikh, 2016).

#### III.7.4. L'effet de la période d'incubation

Il est évident d'après les résultats, que la concentration maximale d'acide lactique 29,6 g/L a été obtenue après 72 h d'incubation. La réduction de la durée de fermentation est un déficit économique pour ce processus. Patel et Parikh, (2016) ; Panesar *et al.*, (2010), ont observé une production maximale d'acide lactique de 33,73 g/L après 36 h d'incubation avec une consommation du lactose de 95,62 % (p/v). Cependant, le temps d'incubation de 36 h a été considéré comme le temps d'incubation optimum pour la transformation du lactose en acide lactique.

#### III.7.5. Effet de l'âge de l'inoculum

Une augmentation d'utilisation du lactose et de production d'acide lactique ont été observées lorsqu'une culture bactérienne d'un âge de 16 à 20 h a été utilisée comme préculture. La concentration finale du lactose, et la concentration maximale de production d'acide lactique sont de 95,62 % (p/v) et 33,71 g/L, respectivement. Ces concentrations ont été observées avec une préculture de 20 h d'âge d'inoculum. Une faible conversion du lactose a été obtenue avec un âge d'inoculum de 16 h, par ce que la culture bactérienne peut être ne pas encore entrée dans la phase de croissance logarithmique. En effet, l'âge d'inoculum de 20 h de *Lactobacillus casei* a été considéré comme un âge optimum pour une meilleur production (Panesar *et al.* , 2010).

#### III.7.6. L'effet d'agitation

L'effet de l'agitation sur la production d'acide lactique par *Lactobacillus casei* a été étudié (Panesar *et al.* , 2010). Aucune différence n'a été observée pour la production d'acide lactique entre le mode stationnaire ,et le mode avec agitation. Donc, le mode stationnaire était sélectionnés pour les études ultérieures (Panesar *et al.* , 2010).

Des résultats similaires a celles obtenues par Patel et Parikh, (2016) et Panesar *et al.* , (2010) , ont été obtenue par Sharma *et al.* , (2021). Ces auteurs ont montré que la production d'acide lactique par *Lactobacillus plantarum* CRA52 a été accrue sur un milieu à base de lactosérum sous des conditions de pH 6.5 , une température de 37°C, un temps d'incubation de 36 h, un âge d'inoculum 20 h, et un taux d'inoculum de 4%(v/v).

Plusieurs d'autres études ont été réalisées sur la production d'acide lactique à partir du lactosérum en citant:

Des études qui ont été réalisés par **Boudjema *et al.*, (2009)**, par l'utilisation de la souche *Streptococcus thermophiles* pour la production d'acide lactique en culture batch à pH non contrôlé, sous des conditions optimales: une température de 42°C, une concentration d'extrait de levure de 1%. Sous ces conditions une concentration d'acide lactique de 13,31 g/L a été obtenue.

**Lech (2020)** a étudié l'effet d'ajout d'une source d'azote recombinaisonnée au milieu de culture à base de perméat de lactosérum sur la production d'acide lactique en cultures mixtes (*Kluyveromyces marxianus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. Lactobacillus bulgaricus* et *Lactobacillus helveticus*). La source d'azote utilisée est constituée de peptone, d'extrait de bœuf et d'extrait de levure. Les résultats obtenus ont montré que l'enrichissement du milieu de culture par une source azoté a amélioré la production d'acide lactique.

**Sayed *et al.*., (2020)** ont étudié la production d'acide lactique à partir de perméat de lactosérum à l'aide de 5 isolats des bactéries lactiques provenant de fromage: *Lactobacillus casei* MT682513, *Enterococcus camelliae* MT682510, *Enterococcus faecalis* MT682509, *Enterococcus lactis* MT682511. Les fermentations sont effectuées dans des conditions de pH non contrôlées. L'influence de pH, de température, ainsi que le temps de fermentation sur le taux de conversion du lactose en acide lactique a été surveillée. La production maximale d'acide lactique est obtenue avec une température comprise entre 30°C et 37°C et un pH de 6. Les résultats ont montré que la meilleure production d'acide lactique a été obtenue avec *Lactobacillus casei*.

## CONCLUSION

---

L'acide lactique est un acide organique très important, utilisé dans des différents domaines. En effet, la production biotechnologique d'acide lactique s'avère intéressante pour la production d'acide poly lactique (PLA) , un polymère biodégradable qui a été utilisé comme une alternative au plastique biodégradable dérivé de matières pétrochimiques. C'est pour cette raison, la production d'acide lactique à partir de ressources renouvelables telles que le lactosérum présente un grand intérêt. Le lactosérum un sous produit de l'industrie laitière a une teneur élevée de lactose ce qui lui dispose un défi environnemental sérieux. La production biotechnologique d'acide lactique à partir de lactosérum a été réalisée par une grande variété de microorganismes tels que les bactéries lactiques. Ces microorganismes sont capables de convertir les sucres de lactosérum en quantité importantes d'acide lactique. Pour un meilleur rendement en acide lactique, plusieurs paramètres influent la fermentation lactique tel que le pH, la température, l'âge d'inoculum... doivent être optimisés.

Enfin, l'exploitation des matières première bon marché est un déficit économique pour produire de nouveaux produits à grand échelle peu coûteux, et un déficit écologique pour préserver l'environnement.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## A

**Abedi E., & Hashemi S. M. B. (2020).** Lactic acid production—producing microorganisms and substrates sources—state of art. *Heliyon*, 6(10), e04974.

**Alexandri M., Schneider R., Mehlmann K. & Venus J. (2019).** Recent advances in d-lactic acid production from renewable resources: case studies on agro-industrial waste streams. *Food Technology and Biotechnology*, 57(3), 293-304.

## B

**Barba F. J. (2021).** An integrated approach for the valorization of cheese whey. *Foods*, 10(3), 564.

**Bauer W J., Badoud R. & Lölliger J. (2010).** *Science et technologie des aliments: Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés*. PPUR Presses polytechniques 1er edition, broche 720 pages, ISBN -10-2880747546.

**Bayitse R. (2015).** Lactic Acid Production from Biomass: Prospect for Bioresidue Utilization in Ghana: Technological Review. *Int J Appl Sci Technol.*, 5:164-174.

**Bernardo M. P., Coelho L. F., Sass D. C. & Contiero J. (2016).** L-(+)-Lactic acid production by *Lactobacillus rhamnosus* B103 from dairy industry waste. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47, 640-646.

**Boudjema K., Fazouane-Naimi F., Hellal A., Mechakra A. (2009).** Optimisation et modèle de production d'acide lactique par *Streptococcus thermophilus* sur lactosérum. *Sciences & Technologie*, 29: 80-90.

**Bosco F., Carletto R. A. & Marmo L. (2018).** An integrated cheese whey valorization process. *Chemical Engineering Transactions*, 64, 379-384.

## C

**Carvalho P., Costa C. E., Baptista S. I. L. & Domingues L. (2021).** Yeast cell factories for sustainable whey-to-ethanol valorisation towards a circular economy.

**Chatzipaschali A. A. & Stamatis A. G. (2012).** Biotechnological utilization with a focus on anaerobic treatment of cheese whey: current status and prospects. *Energies*, 5(9), 3492-3525.

**Corinne G. (2006).** «Additifs alimentaires Danger le guide indispensable pour ne plus vous empoisonner», Edition Chariot D'or par sciences & technique, distribué et diffusé par DG diffusion – franc le 15 février 2006 - 154 pages.

**Cui F., Li Y. & Wan C. (2011).** Lactic acid production from corn stover using mixed cultures of *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus brevis*. *Bioresource Technology*, 102(2), 1831-1836.

## D

**Daniel Goy, Ernst Jakob, John Haldemann( 2015)** Les fermentations lactiques éditeur Agroscope Transfer N°59 – 16 pages

**Djukic´-Vukovic´ A P., Mojovic´ L V., Vukašinovic´-Sekulic M S, Rakin M B., Nikolic´ S B., Pejin J D et Bulatovic´ M L. (2012).** Effect of different fermentation parameters on L-lactic acid production from liquid distillery stillage. *Food Chemistry*, 134: 1038–1043

**Drouault S. & Corthier G. (2001).** Effets des bactéries lactiques ingérées avec des laits fermentés sur la santé. *Veterinary research*, 32(2), 101-117.

## E

**El-Gayar K. E., Essa A. M. & Abada E. A. (2020).** Whey Fermentation for Protease Production Using *Bacillus thuringiensis* Isolated from Mangrove Rhizosphere Soil in Jazan, Saudi Arabia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(3).

## F

**Farooqi S., Ram S., Bilal A. S., Aftab R. & Anwer Z. (2019)** .Lactic Acid production using various raw materials and microorganisms *Annals of Life Sciences* 5 1-8

**Fredyschori . (2009).** Valoriser le petit-lait par les bovins . Station de recherche Agroscope Liebefeld – posieux ALP n° 35

## G

**Gana S. & Touzi A. (2001).** Valorisation du lactosérum par la production de levures lactiques avec les procédés de fermentation discontinue et continue. *Rev. Energ. Ren*, 1, 51-58.

**Gryganskyi A. P., Golan J., Dolatabadi S., Mondo S., Robb S., Idnurm A. & Stajich J. E. (2018).** Phylogenetic and phylogenomic definition of *Rhizopus* species. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 8(6),

## H

**Huang S., Xue Y., Yu B., Wang L., Zhou C. & Ma Y. (2021).** A review of the recent developments in the bioproduction of polylactic acid and its precursors optically pure lactic acids. *Molecules*, 26(21), 6446.

2007-2018

## J

**Jouan P. (2002).** *Lactoprotéines et lactopeptides: Propriétés biologiques*. Editeur :Editions QUAE GIE 1<sup>er</sup> édition ( 1 janvier 2002) Brochés :128 pages ISBN- 10,2738010202 .

## K

**KomesuA., de Oliveira J. A. R., da Silva Martins L. H., Maciel M. R. W. &MacielFilhoR. (2017).**Lactic acid production to purification: a review. *BioResources*, 12(2), 4364-4383.

**Kotzamanidis C., Roukas T., Skaracis G. (2002).**Optimization of lactic acid production from beet molasses by *Lactobacillus delbrueckii* NCIMB 8130. *World J MicrobiolBiotechnol.*, 18:441-448.

## L

**Lachebi S. &YellesF. (2018).**Valorisation du lactosérum par technique membranaire. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 4(3).

**Lech M. (2020).**Optimisation of protein-free waste whey supplementation used for the industrial microbiological production of lactic acid. *Biochemical Engineering Journal*, volume 157, 107531.

## M

**Martinez FAC., BalcunasEM., Salgado JM., Dominguez JM., ConvertiGA., de SouzaOliveira RP. (2013).**Lactic acidproperties,applications and production: A review. *Trends Food Sci Technol.* 30:70-83.

**Mollea C., MarmoL., &Bosco F. (2013).**Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry. In *Food industry*. IntechOpen ISBN 978-953-51-0911-2 .

## N

**Narayanan N., RoychoudhuryP. K. &SrivastavaA. (2004).**L(+) lactic acid fermentation and its product polymerization. *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN : 0717-3458. Vol. 7,No. 2, Issue of August 15 .

## O

**Obi C. N.&EzeC. P. (2021).**fermentation substrates for the production of lactic acid. *The bioscientist journal*, 9(1), 64-73.

## P

**Panesar P. S., Kennedy J. F., Knill C. J., &KossevaM. (2010).**Production of L (+) lactic acid using *Lactobacillus casei* from whey. *Brazilian archives of Biology and Technology*, 53, 219-226.

**Patel S. A. & Parikh S. C. (2016).** Production of lactic acid from whey by *Lactobacillus* sp. isolated from local dairy products. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5, 734-741.

**Pohanka M. (2020).** D-lactic acid metabolite :toxicology , diagnoses , and detection , Biomed Researcher international 2020 volume 12 .

## Q

**Quintero mje., Acostaacm., Mejía cg., Rios er., Torres aml. (2012).** lactic acid production via cassava-flour hydrolysate fermentation. *vitae.*, 19:287-293.

## R

**Ren Jie. (2010) .** *Biodegradable poly (lactic acid): synthesis, modification, processing and applications.* Springer Science & Business Media, 2011.

## S

**SarT., Harirchi S., Ramezani M., Bulkan G., Akbas M. Y., Pandey A.&TaherzadehM. J. (2022).** Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: A critical review. *Science of the Total Environment*, volume 810 - 152253.

**Sayed W. F., Salem W. M., Sayed Z. A.&Abdalla A. K. (2020).** Production of lactic acid from whey permeates using lactic acid bacteria isolated from cheese. *SVU-International Journal of Veterinary Sciences*, 3(2), 78-95.

**Singh S. K., Ahmed S. U. & Pandey A. (2006).** Metabolic engineering approaches for lactic acid production. *Process Biochemistry*, 41(5), 991-1000.

**Schuck P., Bouhallab S., Durupt D., Vareille P., Humbert J. P. & Marin M. (2004).** Séchage des lactosérums et dérivés: rôle du lactose et de la dynamique de l'eau. *Le Lait*, 84(3), 243-268.

## W

**Wee J.Y., Kim J.N. & Ryu H.W. (2006).** Biotechnological Production of Lactic Acid and Its Recent Applications. *Food Technol. Biotechnol.* 44(2). 163-172 .

**Wee J. Y., Kim H. O., Yun J. S. & Ryu W. (2006).** Pilot- Scale Lactic Acid Production Via Batch Culturing of *Lactobacillus* sp. RKY2 Using Corn Steep Liquor as a Nitrogen Source. *Food Technol. Biotechnol.* 44(2): 293-298.

