

GUIDES TECHNOLOGIQUES DES IAA

*Initiation à la*  
**physicochimie**  
**du lait**

*Jacques Mathieu*



*lavoisier*  
**TEC**  
&  
**DOC**

BL 322

*Guides technologiques des IAA*  
*Collection sous la direction de J.-Y. Malégeant*

35576  
②

# INITIATION À LA PHYSICOCHIMIE DU LAIT



Jacques Mathieu  
École nationale des industries  
du lait et des viandes  
de la Roche-sur-Foron



LONDRES



NEW YORK

PARIS

11, rue Lavoisier  
F 75584 Paris cedex 08

# TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	VII
PETIT PANORAMA DU LAIT .....	1

## PREMIÈRE PARTIE

### LA SYNTHÈSE ET LA COMPOSITION DU LAIT

#### Chapitre 1 ■■■■ DU SANG AU LAIT À TRAVERS LA GLANDE MAMMAIRE

1 - L'élaboration du lait par les cellules lactogènes .....	5
2 - Les cellules présentes dans le lait .....	9
3 - Incidence de l'infection de la mamelle sur la composition du lait .....	9
4 - Quelques aspects de l'éjection du lait .....	10

#### Chapitre 2 ■■■■ PRÉSENTATION DES CONSTITUANTS DU LAIT

1 - L'eau .....	13
2 - Le lactose, constituant glucidique le plus abondant du lait .....	13
2.1 - Les glucides, généralités .....	13
2.2 - Le lactose ou sucre du lait .....	16
3 - Les matières grasses et les protéines .....	18
4 - Les matières azotées non protéiques .....	21
5 - Les sels et les constituants salins .....	23
6 - Les groupes de constituants mineurs .....	23
6.1 - Les gaz dissous .....	23
6.2 - Les substances azotées non protéiques mineures .....	24
6.3 - Les constituants à activité biologique .....	24
7 - La matière sèche et la matière sèche dégraissée .....	25
8 - Les variations de la composition du lait .....	26

## Chapitre 3 ■ L'EAU

1 - La liaison de deux atomes .....	27
2 - La liaison oxygène - hydrogène et la molécule d'eau .....	30
3 - La liaison hydrogène et la substance eau .....	31
4 - Les molécules et les groupes d'atomes hydrophiles et hydrophobes .....	31
4.1 - Les groupements hydrophiles et les liaisons hydrogène .....	32
4.2 - Les groupements hydrophobes et les associations hydrophobes .....	33
5 - L'eau et l'hydratation des ions .....	34
6 - L'eau, les acides et les bases .....	34
6.1 - Définition des acides et des bases .....	35
6.2 - L'eau, ses ions hydronium et ses ions hydroxyde .....	35
6.3 - L'eau et le pH .....	36
6.4 - L'eau et la dissociation des acides .....	37
6.4.1 - Pourcentage de dissociation et nature de l'acide .....	38
6.4.2 - Pourcentage de dissociation et concentration molaire de l'acide .....	39
6.4.3 - Pourcentage de dissociation et pH du milieu .....	39
6.4.4 - Pourcentage de dissociation et force ionique du milieu .....	40

## Chapitre 4 ■ LA MATIÈRE GRASSE

1 - Les acides gras .....	46
1.1 - Quelques types d'acides gras .....	48
1.2 - Leurs propriétés physiques .....	48
1.3 - Leurs propriétés chimiques .....	48
1.4 - Leurs propriétés organoleptiques .....	50
2 - Les lipides .....	51
2.1 - Les glycérides .....	51
2.2 - Les glycérophospholipides et les sphingolipides .....	53
2.3 - Les cérides et les stérides .....	55
2.4 - Quelques propriétés des lipides .....	57
2.4.1 - L'hydrolyse et l'apparition d'acides gras libres .....	58
2.4.2 - Les indices d'iode et de saponification .....	59
2.4.3 - Le point de fusion des glycérides .....	59
3 - La matière grasse du lait .....	60
3.1 - Vue d'ensemble .....	60
3.2 - La place des triglycérides .....	61
3.3 - Les acides gras .....	61
3.4 - L'origine des acides gras et du glycérol .....	65

## Chapitre 5 ■ LES PROTÉINES

1 - Généralités .....	67
1.1 - La forme de l'enchaînement protéique .....	70
1.2 - La charge électrique des protéines et son évolution en fonction du pH du milieu .....	71
1.3 - La dénaturalisation des protéines .....	74
2 - Les protéines du lait .....	75
2.1 - Les caséines .....	76
2.1.1 - Isolement et préparation de la caséine entière .....	76
2.1.2 - Son fractionnement .....	76
2.1.3 - Composition et caractéristiques des différentes caséines .....	78
2.1.4 - Leur structure .....	83

2.1.5 - Quelques-unes de leurs propriétés .....	83
2.1.6 - La caséine $\kappa$ .....	86
2.2 - Les protéines solubles .....	88
2.3 - Les protéines mineures .....	93
2.4 - Les propriétés biologiques des protéines du lait .....	94

## Chapitre 6 ■ LES SELS

1 - Les sels organiques et les sels minéraux .....	95
2 - Les matières salines, les matières minérales et les cendres .....	96
3 - Les constituants salins du lait .....	98
3.1 - Les constituants salins mineurs .....	98
3.2 - Les constituants salins majeurs .....	99
4 - Les sels du lait .....	99

## DEUXIÈME PARTIE

### L'ORGANISATION DU LAIT

## Chapitre 7 ■ LE LAIT, MÉLANGE ORDONNÉ

1 - La dispersion d'une substance dans un liquide .....	105
2 - Les propriétés associantes et dispersantes de l'eau .....	106
2.1 - Les substances solubles et les substances insolubles dans l'eau .....	106
2.2 - Hydrophilie, hydrophobie et solubilité .....	107
2.3 - Les facultés d'agrégation des molécules protéiques .....	109
3 - Les particules du lait .....	110
3.1 - Les degrés de division de la matière dans l'eau .....	110
3.2 - Les ions, molécules, macromolécules, micelles et globules gras du lait .....	111
4 - Les modes de dispersion des constituants du lait .....	113
5 - L'ordre des substances du lait .....	114
6 - Voyager au centre d'une goutte de lait .....	116

## Chapitre 8 ■ ENTRE EAU ET TRIGLYCÉRIDES : UNE MEMBRANE

1 - Les constituants de la membrane .....	120
1.1 - Leur diversité .....	120
1.2 - Les protéines .....	120
1.3 - Les lipides complexes, glycérophospholipides et sphingolipides .....	121
1.4 - Les composés liposolubles .....	121
1.5 - Les protéines adsorbées à la surface des globules gras .....	121
2 - Formation et structure de la membrane .....	121
2.1 - Les molécules amphiphiles et leur faculté de s'orienter .....	121
2.1.1 - Émulsion d'huile dans l'eau et molécules amphiphiles .....	122
2.1.2 - Les liposomes .....	123
2.2 - Les membranes cellulaires .....	124
2.3 - Naissance d'un globule et architecture de sa membrane .....	126
2.4 - La membrane, trait d'union entre les milieux lipidique et aqueux .....	130
3 - La membrane et la stabilité des globules .....	130

4 - L'interface glycérides, eau ou la surface du secteur globulaire .....	131
5 - Les propriétés adsorbantes de la membrane et le phénomène de crémage .....	132
5.1 - Agglutination réversible des globules gras et crémage spontané .....	132
5.2 - Adsorption de bactéries et de spores .....	133
5.3 - Adsorption de particules ajoutées au lait .....	133
6 - Les modifications de la membrane .....	134

### TROISIÈME PARTIE

## LE MILIEU AQUEUX, MILIEU DE TRANSFORMATIONS ET D'ÉCHANGES

### Chapitre 9 ■■■■ LES MICELLES DE CASÉINES

1 - Leur composition .....	140
2 - Leur architecture .....	141
3 - Les facteurs responsables de leur stabilité .....	144

### Chapitre 10 ■■■■ LES FORMES ET LA RÉPARTITION DES CONSTITUANTS SALINS ET AUTRES SUBSTANCES

1 - Les diverses formes des constituants du lait .....	145
2 - La répartition des constituants salins à pH = 6,7 et à 25 °C .....	147
2.1 - Les constituants salins en totalité solubles .....	150
2.2 - Les constituants à la fois solubles et micellaires .....	151
2.3 - Le calcium .....	152
3 - Les affinités des constituants salins et leur répartition .....	153

### Chapitre 11 ■■■■ LES ÉQUILIBRES ET LES POUVOIRS TAMPONS DU LAIT

1 - Les principaux équilibres .....	156
1.1 - Entre les formes soluble et insoluble d'un constituant .....	156
1.2 - Entre les deux formes solubles d'un même constituant .....	156
2 - L'évolution des équilibres .....	157
3 - Interdépendance des équilibres et influence des paramètres physicochimiques sur la répartition des constituants du lait .....	160
3.1 - Influence d'une variation de la température .....	161
3.1.1 - Sur les équilibres salins .....	161
3.1.2 - Sur la teneur en dioxyde de carbone .....	162
3.1.3 - Sur l'équilibre caséinique .....	163
3.2 - Influence d'une variation de la concentration de quelques types d'ions .....	165
3.2.1 - L'ion hydronium .....	165
3.2.2 - L'ion calcium, le chlorure de calcium et le citrate de sodium .....	167
3.3 - Influence de la concentration du lait sur les équilibres salins .....	170
4 - Les équilibres et l'unité du milieu aqueux .....	171
5 - La vitesse de déplacement des équilibres .....	171
6 - L'inversibilité des échanges entre la solution et les micelles .....	172
7 - Les pouvoirs tampons du lait .....	172

7.1 - Le lait, tampon des ions calcium et magnésium .....	172
7.2 - Le lait, tampon de l'ion hydronium .....	174

## Chapitre 12 ■■■ LES ÉQUILIBRES, LE pH ET L'ACIDITÉ DU LAIT

1 - Le pH du lait .....	178
2 - L'acidité du lait .....	181
2.1 - L'acidité naturelle .....	181
2.2 - L'acidité développée .....	183
3 - Les relations entre le pH et l'acidité .....	185
4 - Que nous apprennent pH et acidité ? .....	188

## QUATRIÈME PARTIE

### LES CARACTÈRES ET LES FACULTÉS DU LAIT ET DE SES CONSTITUANTS

## Chapitre 13 ■■■ QUELQUES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU LAIT

1 - Densité et masse volumique .....	191
2 - Les lumières et le lait .....	193
2.1 - Aspect et couleur du lait .....	193
2.2 - L'absorption des radiations lumineuses par les substances du lait .....	195
3 - La pression osmotique du lait .....	196
4 - La constante moléculaire du lait .....	198
5 - L'abaissement du point de congélation du lait .....	199

## Chapitre 14 ■■■ LES CONSTITUANTS MINEURS DOUÉS D'UNE ACTIVITÉ BIOLOGIQUE

1 - Le rôle des constituants à activité biologique .....	202
2 - Les constituants mineurs du lait à activité biologique .....	203
3 - Les enzymes .....	204
3.1 - Leur origine .....	204
3.2 - Leur multiplicité .....	204
3.3 - Leur activité .....	205
3.4 - Quelques-unes des enzymes du lait .....	205
3.4.1 - Les oxydoréductases .....	206
3.4.2 - Les enzymes hydrolytiques ou hydrolases .....	208
4 - Les vitamines .....	210
5 - Les hormones .....	211
6 - Les oligoéléments .....	212

## ANNEXE : GRANDEURS, UNITÉS ET SYMBOLES EMPLOYÉS DANS L'OUVRAGE

**L**e lait contient de nombreuses substances qu'il importe de connaître afin de mieux comprendre et de maîtriser les étapes de la transformation laitière. Les équilibres dont il est le siège en font un milieu complexe et fragile. Grâce à *Initiation à la physicochimie du lait*, le technicien sera à même de cerner l'ensemble des processus qui régissent le lait.

L'ouvrage rappelle dans une première partie les différentes étapes de la synthèse du lait. L'organisation de ses différents constituants est ensuite décrite. Le milieu aqueux et ses différentes modifications au cours des traitements physiques ainsi que les caractères et les facultés du lait et de ses constituants sont passés en revue.

Destiné aux étudiants des filières agroalimentaires ou biotechnologiques (brevet de technicien ou de technicien supérieur), cet ouvrage s'avérera également utile aux techniciens en activité.

Jacques Mathieu est professeur à l'École nationale des industries du lait et des viandes de la Roche-sur-Foron.

2-7430-0233-6



9782743002336