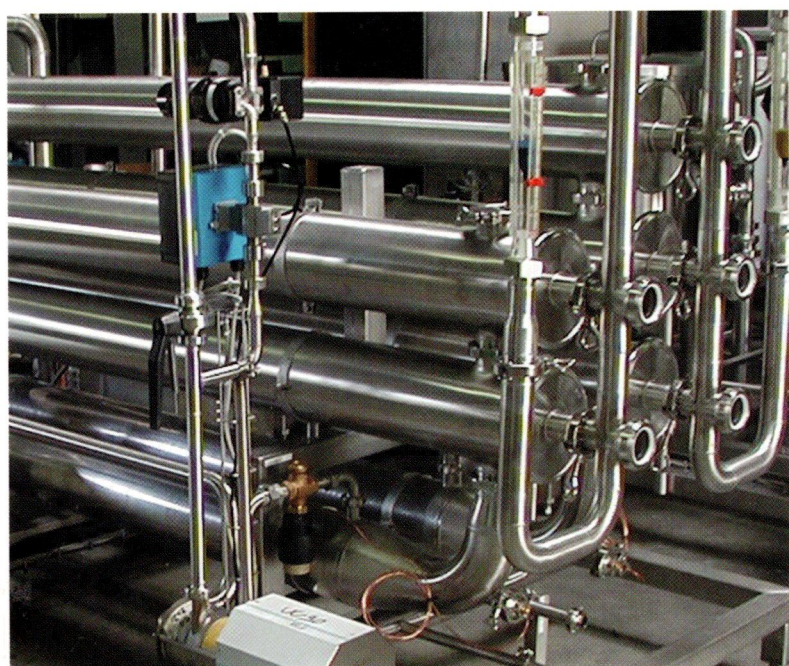


Romain Jeantet • Michel Roignant • Gérard Brulé

Génie des procédés appliqué à l'industrie laitière



Editions
TEC
& **DOC**

Cet ouvrage présente les opérations élémentaires mises en œuvre dans les industries alimentaires, et dans le secteur laitier en particulier : stabilisation par le froid, la chaleur et l'élimination d'eau, fractionnement des constituants...

Les principes physiques sur lesquels s'appuient ces opérations sont largement évoqués, afin de déterminer les leviers technologiques pertinents pour la conception et l'optimisation des procédés. Des exercices corrigés permettent au lecteur de s'approprier ces notions essentielles. Le caractère opérationnel est renforcé par une base de données physiques en relation avec le secteur laitier.

Cet ouvrage, par son approche synthétique et didactique, s'adresse à l'ensemble des professionnels du secteur. Il apporte aussi une contribution utile à la formation des étudiants des filières agroalimentaires ou biotechnologiques (écoles d'ingénieurs, BTS, IUT...).

Romain Jeantet, Michel Roignant et Gérard Brulé enseignent tous les trois au sein du département Agroalimentaire de l'École nationale supérieure agronomique de Rennes. Romain Jeantet et Gérard Brulé sont également les coauteurs de deux autres ouvrages : *Initiation à la technologie fromagère* (Éditions Tec & Doc, 2000) et *Les produits industriels laitiers* (Éditions Tec & Doc, 2000)

2-7430-0509-2



9782743005092

Table des matières

Avant-propos	VII
Symboles	IX
Abréviations	XII

Chapitre 1

Quelques notions importantes concernant les transferts, bilans et équilibres

1. Transferts par conduction	4
1.1. Transferts de chaleur – Loi de Fourier	4
1.1.1. Établissement du régime stationnaire dans une plaque infinie	5
1.1.2. Transfert de chaleur dans une plaque infinie en régime stationnaire.....	6
1.1.3. Transfert de chaleur dans une plaque composite en régime stationnaire.....	7
1.1.4. Transfert de chaleur dans un tube en régime stationnaire...	9
1.1.5. Transfert de chaleur en régime non stationnaire	10
1.2. Transferts de matière – Loi de Fick.....	11
1.2.1. Établissement du régime stationnaire : transfert de matière dans une plaque infinie en régime transitoire.....	12
1.2.2. Transfert de matière dans une plaque infinie en régime stationnaire.....	13
1.3. Transferts de quantité de mouvement	14
1.3.1. Loi de Newton	14

1.3.2. Application au calcul des écoulements dans les conduites en régime laminaire	16
1.3.2.1. Écoulement dans un canal plein à section rectangulaire	16
1.3.2.2. Écoulement dans une conduite cylindrique – Loi de Poiseuille	20
2. Transferts par convection.....	22
2.1. Introduction à la similitude géométrique et physique – Expérience de Reynolds.....	22
2.2. Intérêt de la similitude	23
2.3. Similitude totale.....	26
2.4. Similitude partielle.....	28
2.4.1. Invariants de similitude dans le domaine de la dynamique.....	28
2.4.2. Exemple d'application	28
2.4.3. Invariants de similitude dans le domaine énergétique.....	29
2.5. Analyse dimensionnelle	30
2.5.1. Théorème π	30
2.5.2. Déplacement d'une sphère dans un fluide sous l'action d'une force	31
2.5.3. Perte de charge dans une conduite cylindrique	32
2.5.4. Détermination des coefficients de transfert de chaleur	35
3. Exercices	36
3.1. Parois d'échange de chaleur	36
3.2. Viscosimétrie.....	37
3.3. Chauffage de lait par tube à passage de courant (TPC)	37
3.4. Congélation de produits laitiers	41

Chapitre 2

Traitements thermiques

1. Cinétiques de destruction microbienne et d'inactivation enzymatique..	45
1.1. Cinétique de destruction microbienne à température constante.....	45
1.2. Influence de la température sur la cinétique de destruction microbienne.....	47
1.3. Cinétique d'altération des constituants à température constante	50
1.4. Traitements thermiques à température variable.....	53
2. Mise en œuvre des traitements thermiques	54
2.1. Objectifs	54
2.1.1. Pasteurisation	54
2.1.2. Stérilisation	55
2.2. Traitement en vrac	56
2.2.1. Système discontinu	56
2.2.2. Système continu.....	58
2.2.2.1. Dimensionnement d'un échangeur de chaleur à contre-courant	59
2.2.2.2. Nombre d'unités de transfert.....	61

2.2.2.3. Cas particulier des zones de récupération	61
2.2.2.4. Dimensionnement d'un échangeur de chaleur à co-courant	62
2.2.3. Matériel.....	64
2.2.3.1. Pasteurisation.....	64
2.2.3.2. Stérilisation.....	64
2.3. Traitement après conditionnement.....	68
3. Exercice	69
3.1. Pasteurisation de lait écrémé.....	69
3.2. Stérilisation de lait de consommation.....	73

Chapitre 3

Décantation et filtration

1. Décantation	77
1.1. Loi de Stokes	77
1.2. Décantation sous l'action de la pesanteur.....	79
1.2.1. Séparation de particules en milieu liquide en décanteur horizontal	79
1.2.2. Cas du décanteur oblique	80
1.2.3. Séparation de liquides non miscibles	81
1.3. Décantation centrifuge.....	82
1.3.1. Écrémage du lait.....	82
1.3.2. Cyclones	85
2. Filtration tangentielle.....	88
2.1. Lois de transfert de solvant.....	89
2.1.1. Loi de Darcy	89
2.1.2. Modèle du film	91
2.2. Lois de transfert de solutés - Sélectivité.....	92
2.2.1. Exclusion stérique - Loi de Ferry	92
2.2.2. Exclusion ionique	95
2.3. Influence des paramètres de filtration.....	97
2.4. Dimensionnement des installations	100
2.4.1. Calcul des surfaces de filtration	100
2.4.2. Puissance installée	103
2.4.2.1 Module tubulaire.....	103
2.4.2.2 Module à plaques ou spirales	103
2.5. Diafiltration.....	104
2.6. Composition des fractions obtenues	106
3. Exercices	106
3.1. Clarification de lactosérum doux en décanteur horizontal	106
3.2. Clarification de lactosérum doux en décanteur centrifuge	107
3.3. Ultrafiltration de lait écrémé.....	108
3.4. Obtention de fraction protéique purifiée par diafiltration	110

Chapitre 4

Concentration par évaporation

1. Évaporation simple effet	114
1.1. Principe	114
1.2. Production de vide	116
1.2.1. Condensation par mélange eau-vapeur	118
1.2.2. Condensation par échangeur	119
2. Réduction de la consommation d'énergie	119
2.1. Évaporation multiple effet	119
2.2. Thermocompression	120
2.3. Recompression mécanique des vapeurs	124
3. Éléments de dimensionnement des évaporateurs	126
3.1. Surfaces d'évaporation	126
3.2. Pertes de charge	127
3.3. Temps de séjour	128
4. Exercices	131
4.1. Concentration par évaporation de lactosérum doux	131
4.2. Refroidissement d'un concentré par détente	132

Chapitre 5

Séchage

1. Psychrométrie	134
2. Construction du diagramme enthalpique de l'air humide	136
3. Propriétés du diagramme enthalpique	139
3.1. Séchage par entraînement	139
3.2. Mélange d'airs	140
4. Cinétiques de séchage	142
5. Exercices	143
5.1. Isolation d'une tour de séchage	143
5.2. Séchage de lactosérum doux de pâte pressée cuite	146

Bibliographie	151
----------------------------	-----

Annexes	153
----------------------	-----

Index	161
--------------------	-----