

Tome 2

2^e édition

Génie Industriel Alimentaire

Techniques
séparatives

Pierre Mafart • Émile Béliard

Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Pierre Mafart

professeur des universités

IUP Innovation en industries alimentaire
Université de Bretagne occidentale

Émile Béliard

maître de conférences des universités

IUT de génie biologique

Université de Bretagne occidentale



Génie industriel alimentaire

TOME 2

Techniques séparatives

2^e édition

جامعة محمد بوقرة - بومرداس
Université M'Hamed Bougara - Boumerdes

المكتبة الجامعية

0115913

Editions
TEC
& **DOC**

11, rue Lavoisier
75008 Paris

LONDRES - PARIS - NEW YORK

جامعة محمد بوقرة - بومرداس
Université M'Hamed Bougara - BOUMERDES

المكتبة الجامعية

6641B/MAF

رقم:

5eaf

SOMMAIRE

<i>Introduction</i>	1
Chapitre 1 – TRANSFERTS DE MASSE ET TRANSFERTS DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT	
1. Transferts de masse	8
1.1. Allure de transfert (régime stationnaire).....	8
1.1.1. Transfert par diffusion.....	9
1.1.2. Transferts par convection	14
1.1.3. Notion de résistance diffusionnelle.....	16
1.2. Cinétique du transfert de matière entre deux phases (régime non stationnaire).....	16
1.2.1. Transferts externe et interne de matière	16
1.2.2. Cinétique de transfert en convection pure	18
1.2.3. Cinétique de transfert en diffusion pure	19
2. Transferts de quantité de mouvement	21
2.1. Loi de Newton et notion de viscosité.....	22
2.2. Conséquences des transferts de quantité de mouvement sur les opérations de séparation	24
2.2.1. Perte de charge à travers une résistance hydraulique .	24
2.2.2. Traînée d'une sphère en déplacement dans un fluide .	25
Notations	26
Bibliographie	28

Chapitre 2 – EXTRACTION

1. Extraction par pression	30
1.1. Influence des principaux facteurs sur la vitesse et le rendement d'extraction	31
1.1.1. Préparation de la matière première	31
1.1.2. Pression et temps	31
1.1.3. Épaisseur de la couche de matière première	33
1.2. Principaux types de presse	33
1.2.1. Appareils discontinus	33
1.2.1.1. Presse à plateaux	33
1.2.1.2. Presse à membrane, à poche.....	34
1.2.2. Presses continues	36
1.2.2.1. Presse continue à vis	36
1.2.2.2. Presse à rouleaux	36
2. Extraction solide-liquide	37
2.1. Mécanismes de l'extraction solide-liquide	37
2.1.1. Phase initiale.....	37
2.1.2. Période de diffusion.....	38
2.2. Performances industrielles de l'extraction solide-liquide....	39
2.2.1. Débit.....	39
2.2.2. Rendement	40
2.2.3. Sélectivité.....	41
2.2.4. Concentration de l'extrait	41
2.3. Cinétique de l'extraction solide-liquide	41
2.3.1. Opération batch agitée	41
2.3.2. Opération continue	44
2.4. Facteurs influençant les performances de l'extraction	53
2.4.1. Nature du solvant	53
2.4.2. pH du milieu d'extraction.....	54
2.4.3. Température	54
2.4.4. Taille et forme des particules	55
2.5. Principaux types d'extracteurs	56
2.5.1. Appareils à percolation	56
2.5.2. Appareils à immersion	60
2.5.3. Installations mixtes	63
3. Extraction par fluide supercritique	65
3.1. Solvants supercritiques	66
3.2. Mise en œuvre et applications	68
4. Exercices	70
Notations	74
Bibliographie	76

Chapitre 3 – DÉCANTATION ET CENTRIFUGATION

1. Décantation	79
1.1. Vitesse de sédimentation	79
1.2. Principe de fonctionnement	83
1.2.1. Décanteur vertical	83
1.2.2. Décanteur horizontal	84
2. Centrifugation	86
2.1 Débit limite de centrifugation	87
2.1.1. Nature du produit	87
2.1.2. Caractéristique de la centrifugeuse	88
2.2. Principaux types de centrifugeuses	88
2.2.1. Bol tubulaire	89
2.2.2. Centrifugeuses à vis convoyeuse (décanteurs centrifuges)	93
2.2.3. Bols à assiettes	96
3. Exercices	103
Notations	105
Bibliographie	106

Chapitre 4 – FILTRATION

1. Variations du débit de filtration	108
1.1. Filtration par alluvionnement	109
1.1.1. Filtration à pression constante	111
1.1.2. Filtration à débit constant	114
1.1.3. Analyse de la résistance spécifique	115
1.2. Filtration de masse	119
1.2.1. Colmatage pur	119
1.2.2. Colmatage intermédiaire	120
2. Milieux filtrants	122
2.1. Adjuvants de filtrations	123
2.1.1. Diatomites	123
2.1.2. Perlite	124
2.1.3. Cellulose	124
2.1.4. Charbon filtrant	124
2.2. Filtres épais	124
2.3. Membranes	125
3. Principaux types de filtres	126
3.1. Filtres-presses	126

3.2. Filtres rotatifs à tambour	128
3.2.1. Fonctionnement sous vide	129
3.2.2. Fonctionnement sous pression	129
3.3. Filtres rotatifs à disques	131
3.4. Filtres à cartons alluvionnables.....	132
3.5. Filtres à tamis métalliques	133
3.5.1. Filtres à plateaux	133
3.5.2. Filtres à bougies	133
3.6. Filtres à plaques.....	135
3.7. Filtres à membranes et microfiltration tangentielle.....	136
4. Exercices	138
Notations	143
Bibliographie	145

Chapitre 5 – TECHNIQUES SÉPARATIVES MEMBRANAIRES

1. Mécanismes et flux transmembranaires	149
1.1. Ultrafiltration	149
1.2. Osmose inverse	150
1.3. Facteurs limitant les performances de la membrane.....	153
1.3.1. Effet de polarisation.....	154
1.3.2. Dépôt d'une couche de gel	155
1.4. Récapitulation: facteurs affectant le flux du perméat	156
1.4.1. Pression différentielle transmembranaire	156
1.4.2. Débit d'alimentation du module	157
1.4.3. Concentration en extrait sec du produit	157
1.4.4. Température	158
2. Sélectivité des membranes	159
3. Membranes	161
3.1. Performances.....	161
3.1.1. Perméabilité	161
3.1.2. Sélectivité	162
3.1.3. Résistance	162
3.2. Différents types de membranes	162
3.2.1. Membranes cellulosiques	162
3.2.2. Membranes en polymères organiques	163
3.2.3. Membranes minérales	163
4. Modules d'ultrafiltration et d'osmose inverse	164
4.1. Modules plans	164
4.2. Modules spirales.....	166

4.3. Modules tubulaires	166
4.4. Modules à fibres creuses.....) 168
5. Mise en œuvre	168
5.1. Fonctionnement discontinu.....	169
5.1.1. Sans boucle de recirculation.....	169
5.1.2. Avec boucle de recirculation.....	169
5.2. Fonctionnement continu	170
6. Principales applications	171
6.1. Concentration	172
6.2. Épuration, clarification et stérilisation	174
6.3. Purification de macromolécules par UF	175
6.4. Applications en biotechnologie	178
6.5. Applications au traitement des effluents des industries alimentaires	179
7. Exercices	180
Notations	183
Bibliographie	185

Chapitre 6 – ÉLECTRODIALYSE

1. Principe de base	189
1.1. Rappels théoriques	189
1.2. Principe d'un module d'électrodialyse	192
1.3. Limitations aux performances de l'électrodialyse	193
1.3.1. Imperfections de la sélectivité des membranes	193
1.3.2. Pertes d'énergie par effet Joule	194
1.3.3. Effet de polarisation	195
2. Aspect technologique	198
2.1. Membranes	198
2.1.1. Qualités de performance	199
2.1.2. Qualités de résistance	200
2.2. Compartiments	200
2.3. Mise en œuvre	201
2.3.1. Fonctionnement discontinu	201
2.3.2. Fonctionnement continu	201
2.3.3. Procédé continu à recirculation	203
3. Domaines d'applications de l'électrodialyse et problèmes techniques liés à sa mise en œuvre	203
3.1. Limite du taux d'extraction	204

3.2. Sélectivité de l'extraction	206
3.3. Colmatage des membranes	208
4. Électrodialyse à membranes bipolaires	210
Notations	212
Bibliographie	213

Chapitre 7 – ÉCHANGE D'IONS

1. Structure et propriétés des échangeurs	215
1.1. Principaux types d'échangeurs	215
1.1.1. Échangeurs cationiques.	216
1.1.2. Échangeurs anioniques	217
1.2. Équilibres entre solutions interne et externe.	217
1.2.1. Sorption de solvant et gonflement	217
1.2.2. Sorption des composés non ioniques	219
1.2.3. Sorption des électrolytes forts	219
1.3. Échange d'ions proprement dit.	220
1.3.1. Notions d'affinité relative	220
1.3.2. Facteurs influençant l'affinité de la résine pour un ion .	222
1.3.3. Capacité des résines.	222
1.3.4. Stabilité des résines	223
2. Mise en œuvre technique de l'échange d'ions	223
2.1. Dynamique des colonnes d'échanges d'ions	224
2.2. Fonctionnement cyclique de l'échange d'ions	228
2.2.1. Saturation	228
2.2.2. Lavage	230
2.2.3. Régénération	230
2.2.4. Rinçage	231
3. Technologie des colonnes échangeuses d'ions	231
3.1. Colonnes à lits fixes et régénération en co-courant	231
3.2. Colonnes à lit fixe et régénération à contre-courant	233
3.3. Échangeurs continus.	235
4. Principales applications	236
4.1. Déminéralisation	237
4.2. Décalcification	238
4.3. Décoloration	240
4.4. Récupération et purification des protéines	241
4.5. Transformation des sucres	243
Bibliographie	244

Chapitre 8 – DISTILLATION

1. Bases théoriques	245
1.1. Principe	245
1.2. Équilibre liquide-vapeur	245
1.2.1. Cas d'un corps pur	245
1.2.2. Cas des gaz parfaits	245
1.2.3. Cas des mélanges idéaux	246
1.3. Diagrammes d'équilibres liquide-vapeur (cas des mélanges binaires)	246
1.3.1. Mélanges idéaux	247
1.3.1.1. Diagramme isobare	247
1.3.1.2. Diagramme VLE (Vapor – Liquid – Equilibrium)	247
1.3.2. Mélanges non idéaux	248
1.4. Fractionnement d'un mélange binaire	250
2. Mise en œuvre industrielle	252
2.1. Distillation discontinue simple	252
2.1.1. Bilan matière	252
2.1.2. Bilan énergétique	254
2.1.3. Entraînement à la vapeur	254
2.1.4. Applications	254
2.2. Distillation continue	255
2.2.1. Écriture des bilans globaux	256
2.2.2. Calcul des colonnes à distiller	256
2.2.3. Applications	257
Notations	260
Bibliographie	262

Chapitre 9 – PERVAPORATION

1. Bases théoriques	263
1.1. Principe	263
1.2. Mécanismes et critères de performance	263
1.2.1. Mécanismes	263
1.2.2. Critères de performance	264
1.3. Facteurs influant sur les performances	267
1.4. Rendements en pervaporation	269
1.5. Bilan énergétique	269
2. Appareillage	270
2.1. Membranes (Néel et Aptel, 1982; Voilley et Lamer, 1990) ..	270
2.2. Installations de pervaporation	271

3. Applications	271
Notations	274
Bibliographie	275
 ANNEXE	276