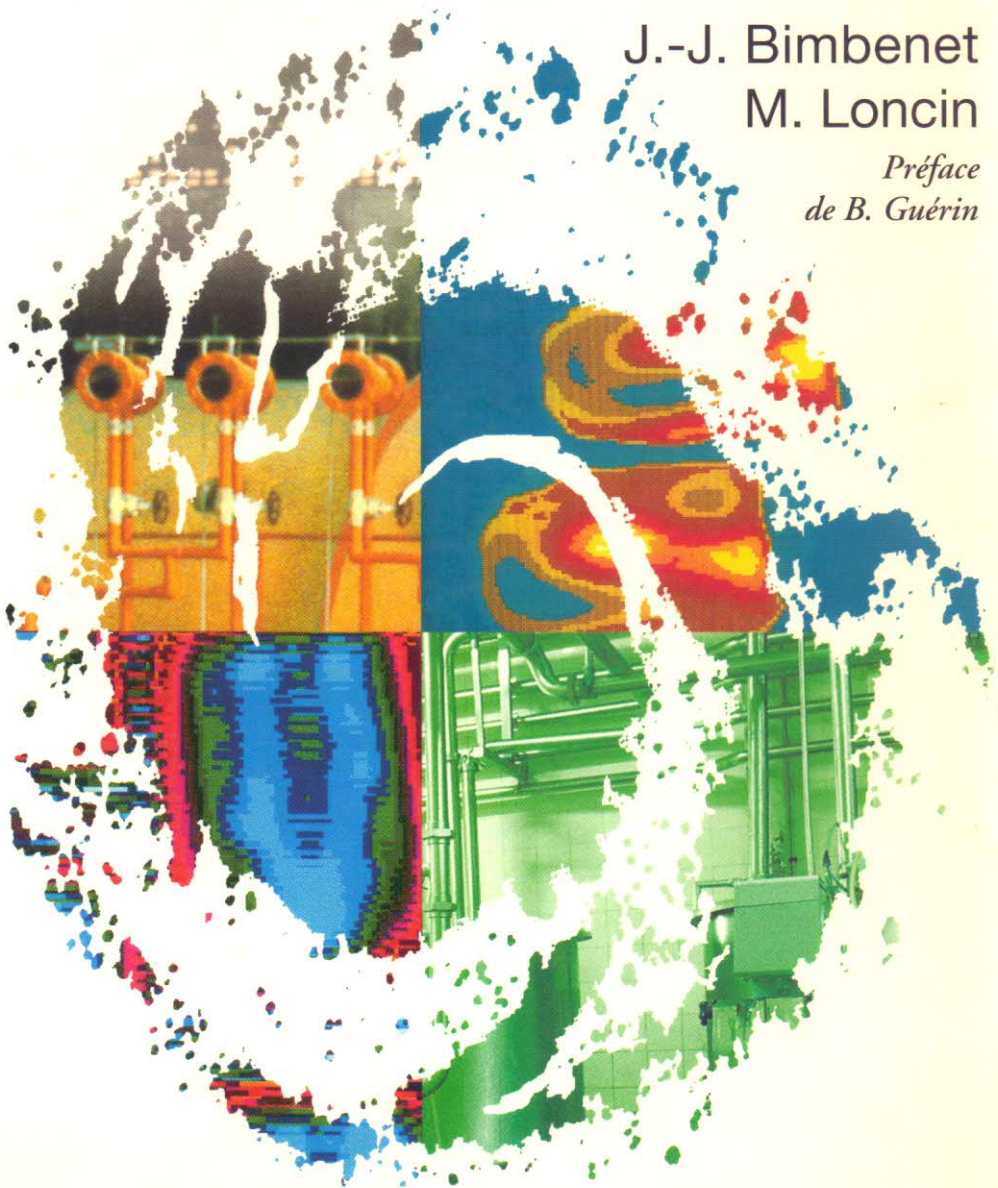


# Bases du génie des procédés alimentaires

J.-J. Bimbenet  
M. Loncin

*Préface  
de B. Guérin*



# Table des matières

<i>Préface</i> .....	V
<i>Remerciements</i> .....	VI
<i>Table des matières</i> .....	D
<i>Symboles</i> .....	XII
<i>Avant-propos</i> .....	XVI

---

## INTRODUCTION

---

<i>I Le Génie des procédés alimentaires</i> .....	1
1.1. Du génie chimique au génie des procédés .....	1
1.2. Le génie des procédés alimentaires (GPA) .....	2
1.3. Évolution des types d'opérations et des techniques utilisées.....	4
1.4. Opérations manufacturières .....	5
<i>II Mesures, dimensions, unités</i> .....	8

---

## PREMIÈRE PARTIE : TRANSFERTS ET ÉQUILIBRES

---

<i>III Transferts de matière et de chaleur par conduction</i> .....	11
3.1. Champs de concentrations et de températures dans un corps immobile – Surfaces isopotentielles .....	11
3.2. Gradients de potentiels .....	12
3.3. Premières lois de Fourier et de Fick .....	13
3.4. Conductivités .....	15
3.5. Exemples d'utilisation des premières lois de Fourier et de Fick .....	16
<i>IV Transferts de quantités de mouvement dans les fluides</i> .....	22
4.1. Contraintes tangentielles et pertes de charge dans un fluide en écoulement dans une conduite .....	22
4.2. Étude des contraintes visqueuses – Loi de Newton – Premiers pas en rhéologie .....	23
4.3. Écoulement laminaire d'un fluide dans un tuyau cylindrique .....	28
4.4. Écoulement laminaire et turbulent .....	30
4.5. La turbulence .....	33
4.6. Notion de couche-limite .....	35
4.7. Modèle de la couche-limite équivalente .....	37

V	Équilibres entre phases .....	39
	5.1. Équilibre thermodynamique .....	39
	5.2. Potentiel chimique .....	41
	5.3. Coefficient d'activité et prévision de l'équilibre .....	43
	5.4. Activité de l'eau .....	52
VI	Transferts de matière et de chaleur entre phases .....	59
	6.1. Transferts de chaleur entre fluide en mouvement turbulent et paroi .....	60
	6.2. Transferts de matière entre fluide en mouvement turbulent et paroi .....	60
	6.3. Transferts de chaleur entre deux fluides en mouvement turbulent, séparés ou non par une paroi, simple ou multiple .....	62
	6.4. Transferts de matière entre deux phases fluides en écoulement turbulent : « théorie de la double couche » .....	63
	6.5. Expression générale des transferts entre phases .....	66
VII	Similitude – Applications à la détermination des coefficients de transferts .....	67
	7.1. La similitude : pourquoi ? .....	67
	7.2. Similitudes géométrique et physique .....	68
	7.3. Invariants de similitude .....	72
	7.4. Application de la similitude aux problèmes d'extrapolation .....	78
	7.5. Analyse dimensionnelle – Théorème $\Pi$ – Utilisation pratique .....	79
	7.6. Transferts de quantité de mouvement .....	86
	7.7. Transferts de chaleur et de matière sans changement d'état .....	95
	7.8. Transferts avec changement d'état .....	103
	7.9. Transferts dans les corps non-newtoniens .....	109
	7.10. Analogies .....	114
	7.11. Utilisation des invariants de similitude à l'expression de relations entre grandeurs : résumé, mode d'utilisation .....	114

---

## DEUXIÈME PARTIE : BILANS

---

VIII	Généralités sur les bilans .....	117
	8.1. Grandeurs extensives/intensives .....	117
	8.2. Écriture générale d'un bilan .....	118
	8.3. Types de bilans .....	118
	8.4. État du système par rapport au temps .....	119
	8.5. État du système par rapport à l'espace .....	120
IX	Systèmes à potentiel homogène .....	121
	9.1. Dans quels cas un système est-il homopotentiel ? .....	121
	9.2. Exemple d'une cuve parfaitement agitée .....	121
	9.3. Exemple du chauffage des boîtes de conserve à contenu liquide .....	123
	9.4. Exemple du transfert de matière discontinu entre deux fluides .....	126

<i>X Échangeurs continus – Méthode des étages théoriques</i> .....	130
10.1. Principes des extracteurs industriels .....	130
10.2. Calcul des extracteurs par la méthode des étages théoriques .....	135
<i>XI Échangeurs continus – Méthode des unités de transfert</i> .....	142
11.1. Exemple de l'échangeur de chaleur à courant croisé .....	142
11.2. Exemple de l'échangeur continu de matière à contre-courants .....	146
11.3. Cas où l'on doit tenir compte d'un gradient de concentration dans l'une des phases .....	148
11.4. Comparaison entre les méthodes des étages théoriques et des unités de transfert .....	150
<i>XII Bilans ponctuels dans un milieu continu</i> .....	151
12.1. Conduction dans un milieu immobile : secondes lois de Fourier et de Fick .....	151
12.2. Solutions classiques des secondes lois .....	154
12.3. Convection .....	167
12.4. Production ou consommation d'extensité .....	168
12.5. Secondes lois de Fourier et de Fick généralisées .....	169
12.6. Équations de Navier–Stokes .....	169
12.7. A quoi servent ces lois ? .....	170

## TROISIÈME PARTIE : CINÉTIQUE BIOCHIMIQUE APPLIQUÉE

<i>XIII Réactions biochimiques et biologiques</i> .....	171
13.1. Réactions enzymatiques .....	172
13.2. Croissance microbienne .....	174
13.3. Influence de la température .....	176
13.4. Fermentations industrielles .....	177
<i>XIV Pasteurisation - Stérilisation</i> .....	182
14.1. Lois de destruction thermique .....	183
14.2. Pénétration thermique .....	187
14.3. Valeurs stérilisatrices .....	189
14.4. Calcul des barèmes de pasteurisation ou de stérilisation .....	191
<i>XV Dispersion des temps de séjour dans les opérations continues</i> .....	193
15.1. Temps de séjour moyen et dispersion .....	193
15.2. Conséquences de la DTS .....	194
15.3. Représentations de la DTS .....	195
15.4. Caractérisation expérimentale de la DTS .....	196
15.5. Les modèles classiques .....	197
15.6. Exemple d'utilisation de la DTS à la compréhension et au calcul des opérations : pasteurisation et stérilisation continues .....	203
<i>XVI Nettoyage et désinfection</i> .....	205
16.1. Le nettoyage .....	206
16.2. La désinfection .....	210
16.3. Les procédures de désinfection .....	213

<i>Problèmes</i> .....	217
<i>Solutions</i> .....	229

## ANNEXES

<i>A1. Conductivités et diffusivités</i> .....	245
1.1. Diffusivité de matière .....	245
1.2. Conductivités et diffusivités thermiques .....	248
<i>A2. Équations de base de la mécanique des fluides</i> .....	251
2.1. Bilan global de matière : équation de continuité .....	251
2.2. Forces agissant sur un volume élémentaire - Équations d'Euler .....	252
2.3. Équations de Navier–Stokes .....	254
2.4. Résolution des équations de Navier–Stokes .....	255
2.5. Échauffement dû au mouvement .....	257
<i>A3. Mécanique des poudres</i> .....	259
3.1. Comportement mécanique – Coulabilité .....	259
3.2. Lieux cinétiques de rupture ou LCR .....	260
3.3. Fonction d'écoulement .....	261
3.4. Frottement à la paroi .....	262
3.5. Exemple : calcul des silos, méthode de Jenike .....	262
<i>A4. Modèle de la pénétration de la couche-limite</i> .....	264
<i>A5. Rappel des méthodes d'intégration numérique</i> .....	267
<i>A6. Analyse vectorielle – Formules stokiennes</i> .....	269
6.1. Gradient .....	269
6.2. Divergence d'un vecteur .....	270
6.3. Laplacien .....	271
<i>Tables et diagrammes</i> .....	273
<i>Bibliographie</i> .....	287
<i>Index alphabétique des matières</i> .....	299