

Coordonnateur **Didier Ronze**

# Introduction au génie des procédés

*Applications et  
développements*

**TEC**  
**& DOC**

*Lavoisier*

# Table des matières

## Chapitre 1

<b>Thermodynamique (Noël Hiquily, Didier Colson et Éric Peyrol) . . . . .</b>	<b>1</b>
1. Thermodynamique générale. Premier et second principes. . . . .	1
1.1. Caractérisation de la matière . . . . .	1
1.2. Travail . . . . .	6
1.3. Transfert thermique . . . . .	10
1.4. Premier principe . . . . .	12
1.5. Second principe . . . . .	21
2. Équilibres de phases . . . . .	37
2.1. Équilibres liquide-vapeur sur le corps pur . . . . .	37
2.2. Chaleurs latentes-changement d'état . . . . .	41
2.3. Équilibres liquide-vapeur – Solutions idéales . . . . .	46
2.4. Mélanges réels – Équilibres liquide-vapeur isothermes . . . . .	51
2.5. Mélanges réels – Diagramme enthalpique (équilibre liquide-vapeur) . . . . .	55
2.6. Équilibres ternaires gaz-liquide isothermes et isobares . . . . .	57
2.7. Équilibres ternaires liquide-liquide . . . . .	61
2.8. Diagrammes de phases – Équilibres liquide-solide . . . . .	66
2.9. Équilibres liquide-solide à composés définis . . . . .	69
3. Machines thermiques . . . . .	71
3.1. Compresseurs volumiques (alternatifs) . . . . .	71
3.2. Machines productrices de travail : centrales thermiques à turbines (à vapeur) . . . . .	73
3.3. Machines productrices de froid à compression simple – Pompes à chaleur . . . . .	78
3.4. Liquéfacteur . . . . .	98

## Chapitre 2

<b>Mécanique des fluides (Nicolas Roche) . . . . .</b>	<b>105</b>
1. Statique des fluides . . . . .	105

2. Dynamique des fluides .....	110
3. Pertes de charge .....	120
4. Pompes centrifuges .....	130

### Chapitre 3

<b>Milieux poreux et séparation solide/liquide (Gilles Févotte) .....</b>	<b>139</b>
---	------------

1. Caractérisation des particules .....	139
2. Interaction fluide-particule isolée .....	165
3. Écoulements à travers les milieux poreux .....	171
4. Filtration sur support .....	186

### Chapitre 4

<b>Transfert de chaleur (Jean Costes et Nordine Mouhab) .....</b>	<b>225</b>
---	------------

1. Conduction .....	225
1.1. Conduction dans une paroi plane .....	225
1.2. Conduction dans une paroi cylindrique .....	226
2. Convection forcée et naturelle : estimation des coefficients .....	228
3. Condensation en film : estimation des coefficients .....	232
4. Transfert entre deux fluides séparés par une paroi. Isolation thermique .....	235
5. Échangeurs de chaleur .....	246
Notations utilisées .....	266

<b>Annexe – Corrélations d'estimation du coefficient de transfert de chaleur par convection .....</b>	<b>268</b>
---	------------

1. Convection forcée d'un fluide sans changement d'état .....	268
1.1. Géométrie fermée (écoulement interne) .....	268
1.1.1. Écoulement à l'intérieur d'un tube .....	268
1.1.2. Écoulement dans un espace annulaire .....	268
1.2. Géométrie ouverte (écoulement externe) .....	269
1.2.1. Écoulement à l'extérieur d'un tube, perpendiculaire à l'axe .....	269
1.2.2. Écoulement à l'extérieur de tubes confinés dans une calandre munie de chicanes .....	269
2. Convection naturelle .....	270
3. Condensation en film .....	270
3.1. Condensation en film sur plaques planes et tubes disposés verticalement .....	271
3.2. Condensation en film sur un (ou N) tube(s) disposé(s) horizontalement .....	271

### Chapitre 5

<b>Opérations unitaires (Didier Colson) .....</b>	<b>273</b>
---	------------

1. Généralités sur les opérations unitaires .....	273
---	-----

2. Distillation .....	285
3. Extraction Liquide-Liquide .....	366
4. Absorption/Désorption .....	412
5. Cristallisation ( <i>Denis Mangin</i> ) .....	445
6. Séchage .....	456
7. Adsorption .....	491

### Chapitre 6

<b>Génie des réacteurs (<i>Jean-Paul Klein</i>)</b> .....	513
1. Évolution du mélange réactionnel. Cinétique des réactions .....	513
2. Bilans de matière dans les réacteurs idéaux .....	523
2.1. Réacteurs fermés. Détermination des cinétiques de réaction .....	523
2.2. Réacteurs continus et semi-continus .....	536
3. Bilans thermiques dans les réacteurs idéaux .....	569
4. Association de zones idéales. ....	587
5. Modélisation des réacteurs réels : distribution des temps de séjour .....	601

### Chapitre 7

<b>Régulation (<i>Didier Ronze</i>)</b> .....	613
1. Dynamique des systèmes. ....	613
1.1. Fonctions de transfert. ....	613
1.2. Procédés du premier ordre .....	623
1.3. Procédés intégrateurs .....	639
1.4. Procédés du deuxième ordre .....	641
1.5. Identification des procédés .....	649
1.6. Actionneur .....	656
1.7. Régulateurs .....	658
2. Régulation .....	663
2.1. Boucles de régulation .....	663
2.2. Applications .....	667

### Chapitre 8

<b>Bioréacteurs (<i>Ridha Mosrati</i>)</b> .....	707
1. Introduction .....	707
2. Cinétiques enzymatiques homogènes .....	708
2.1. Détermination des paramètres cinétiques d'une loi de Michaelis-Menten .....	708
2.2. Influence de la concentration en substrat sur la cinétique enzymatique .....	711
2.3. Inhibition par un produit de réaction .....	714
3. Réacteurs enzymatiques .....	716
3.1. Influence du transfert de matière externe .....	716
3.2. Influence du transfert de matière interne .....	725

2. Distillation .....	285
3. Extraction Liquide-Liquide .....	366
4. Absorption/Désorption .....	412
5. Cristallisation ( <i>Denis Mangin</i> ) .....	445
6. Séchage .....	456
7. Adsorption .....	491

### Chapitre 6

<b>Génie des réacteurs (<i>Jean-Paul Klein</i>)</b> .....	513
1. Évolution du mélange réactionnel. Cinétique des réactions .....	513
2. Bilans de matière dans les réacteurs idéaux .....	523
2.1. Réacteurs fermés. Détermination des cinétiques de réaction .....	523
2.2. Réacteurs continus et semi-continus .....	536
3. Bilans thermiques dans les réacteurs idéaux .....	569
4. Association de zones idéales .....	587
5. Modélisation des réacteurs réels : distribution des temps de séjour .....	601

### Chapitre 7

<b>Régulation (<i>Didier Ronze</i>)</b> .....	613
1. Dynamique des systèmes .....	613
1.1. Fonctions de transfert .....	613
1.2. Procédés du premier ordre .....	623
1.3. Procédés intégrateurs .....	639
1.4. Procédés du deuxième ordre .....	641
1.5. Identification des procédés .....	649
1.6. Actionneur .....	656
1.7. Régulateurs .....	658
2. Régulation .....	663
2.1. Boucles de régulation .....	663
2.2. Applications .....	667

### Chapitre 8

<b>Bioréacteurs (<i>Ridha Mosrati</i>)</b> .....	707
1. Introduction .....	707
2. Cinétiques enzymatiques homogènes .....	708
2.1. Détermination des paramètres cinétiques d'une loi de Michaelis-Menten .....	708
2.2. Influence de la concentration en substrat sur la cinétique enzymatique .....	711
2.3. Inhibition par un produit de réaction .....	714
3. Réacteurs enzymatiques .....	716
3.1. Influence du transfert de matière externe .....	716
3.2. Influence du transfert de matière interne .....	725

4. Cinétiques microbiennes et calcul de bioréacteurs . . . . .	729
4.1. Détermination de paramètres cinétiques en bioréacteur discontinu . . . . .	729
4.2. Détermination de paramètres cinétiques en bioréacteur continu . . . . .	732
4.3. Production en bioréacteur continu d'un composé à cinétique de formation mixte . . . . .	735
4.4. Bioréacteur continu avec recyclage de cellules . . . . .	738

## Chapitre 9

<b>Sécurité – Environnement (Séverine Vessot-Crastes et Catherine Morlay)</b> . . . . .	743
1. Sécurité . . . . .	743
2. Environnement . . . . .	746

<b>Annexes</b> . . . . .	751
--------------------------	-----

<b>Index</b> . . . . .	797
------------------------	-----