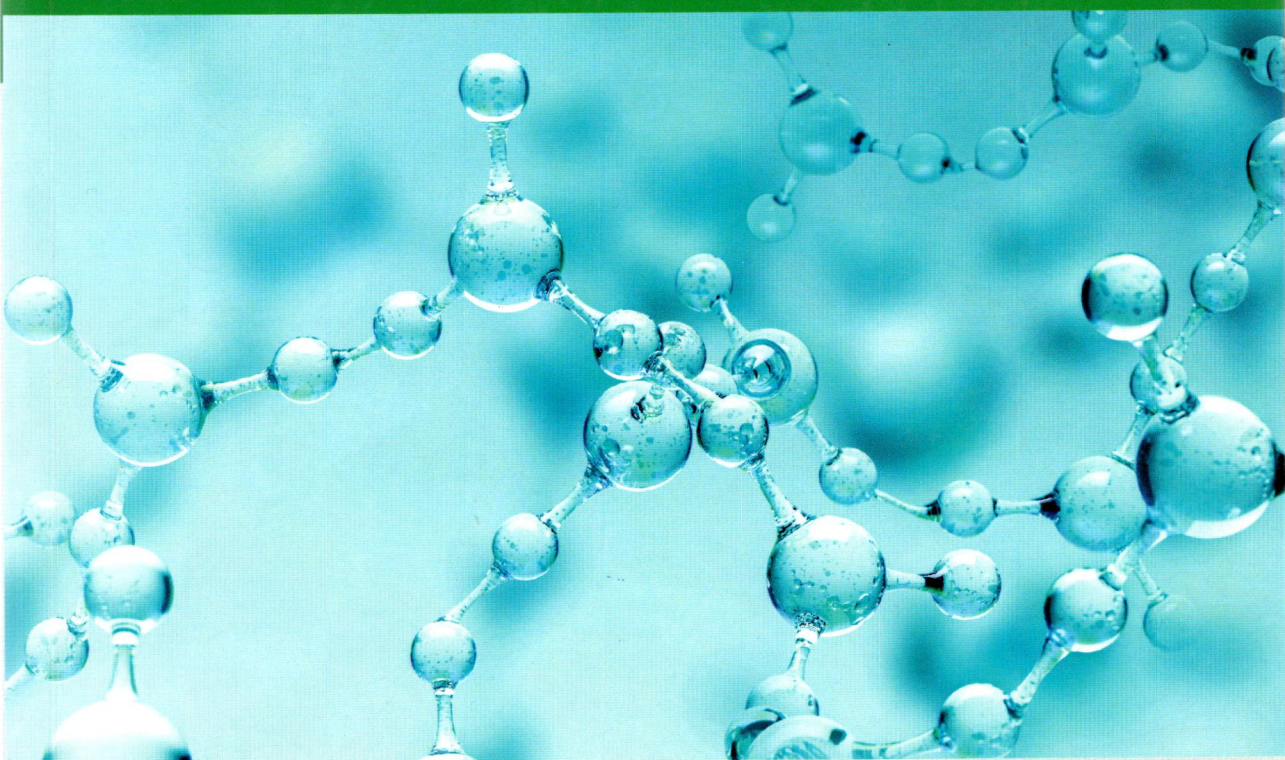


Jean-Jacques Bimbenet - Albert Duquenoy - Gilles Trystram



# GÉNIE DES PROCÉDÉS ALIMENTAIRES

Des bases aux applications

**11<sup>e</sup> ÉDITION**



**DUNOD**

# GÉNIE DES PROCÉDÉS ALIMENTAIRES

Des bases aux applications

11<sup>e</sup> ÉDITION

Le génie des procédés alimentaires présente, par rapport au génie des procédés « classique », un certain nombre de spécificités liées à la nature des produits transformés (variabilité des matières premières, grande diversité des produits, finalité alimentaire, etc.).

L'objectif de cette nouvelle édition, mise à jour et enrichie, est de donner pour toutes les opérations unitaires et les réactions du génie des procédés alimentaires :

- les bases nécessaires (mécanique des fluides, échanges de chaleur et de matière) pour comprendre les phénomènes mis en jeu ;
- des outils de raisonnement et de calcul (bilans, nombres sans dimension, etc.) ;
- des exemples d'applications industrielles.

Cet ouvrage comprend toutes les informations utiles à la maîtrise des bioréactions et des différentes opérations unitaires : filtration, cristallisation, distillation, réfrigération, séchage, cuisson-extrusion, opérations mécaniques (agitation-mélange, broyage, triage, etc.).

Une nouveauté pour le lecteur est qu'il trouvera des suppléments en ligne sur le site web de l'éditeur. Ceux-ci contiennent notamment des applications numériques permettant de prendre la pleine mesure de l'intérêt pratique des notions présentées et de comprendre la manière de les utiliser.

Cet ouvrage de référence constitue un outil de travail indispensable pour les ingénieurs et techniciens travaillant sur la conception et l'exploitation de procédés industriels dans l'industrie agroalimentaire, ainsi que pour les étudiants et élèves-ingénieurs du domaine.

**Jean-Jacques Bimbenet**

**Albert Duquenoy**

**Gilles Trystram**

sont professeurs à  
AgroParisTech.



À télécharger  
sur [dunod.com](http://dunod.com)



2706803  
ISBN 978-2-10-082188-4



SNV-CH

**DUNOD**  
une page d'avance

# TABLE DES MATIÈRES

---

|                                                                                                                      |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Symboles</b>                                                                                                      | <b>XIII</b> |
| <b>Introduction</b>                                                                                                  | <b>1</b>    |
| <b>1 • Mécanique des fluides, filtration, essorage, pressage</b>                                                     | <b>7</b>    |
| 1.1 Mécanique des fluides : écoulement laminaire                                                                     | 7           |
| 1.2 Filtration frontale                                                                                              | 14          |
| 1.3 Essorage                                                                                                         | 31          |
| 1.4 Extraction par pression                                                                                          | 37          |
| <b>2 • Mécanique des fluides, similitude, décantation, centrifugation</b>                                            | <b>45</b>   |
| 2.1 Mécanique des fluides : turbulence, couche limite                                                                | 45          |
| 2.2 La similitude et ses applications                                                                                | 50          |
| 2.3 Calcul des traînées et des frottements entre phases                                                              | 62          |
| 2.4 Décantation par gravité                                                                                          | 67          |
| 2.5 Centrifugation                                                                                                   | 73          |
| 2.6 Choix des procédés de séparation de phases                                                                       | 85          |
| <b>3 • Bilans et échanges de chaleur, échangeurs, évaporateurs</b>                                                   | <b>91</b>   |
| 3.1 Bilans                                                                                                           | 91          |
| 3.2 Transferts de chaleur                                                                                            | 98          |
| 3.3 Chauffage par champs électriques et électromagnétiques                                                           | 109         |
| 3.4 Échangeurs de chaleur                                                                                            | 122         |
| 3.5 Évaporation                                                                                                      | 131         |
| <b>4 • Échange de matière : équilibres, transferts, cristallisation, séparation par membrane</b>                     | <b>161</b>  |
| 4.1 Équilibres de concentrations                                                                                     | 161         |
| 4.2 Transferts de matière                                                                                            | 170         |
| 4.3 Cristallisation                                                                                                  | 182         |
| 4.4 Séparation par membrane                                                                                          | 198         |
| <b>5 • Échange de matière : extraction, distillation, opérations chromatographiques, déshydratation-imprégnation</b> | <b>221</b>  |
| 5.1 Extraction                                                                                                       | 221         |
| 5.2 Distillation                                                                                                     | 238         |
| 5.3 Chromatographie préparative – Échange d'ions                                                                     | 258         |
| 5.4 Déshydratation – Imprégnation                                                                                    | 274         |

|                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6 • Réactions</b>                                                                  | <b>279</b> |
| 6.1 Réactions et réacteurs en IAA                                                     | 279        |
| 6.2 Destruction thermique des micro-organismes                                        | 289        |
| 6.3 Dispersion des temps de séjour                                                    | 296        |
| 6.4 Bioréactions et bioréacteurs                                                      | 313        |
| <b>7 • Lois de Fourier et de Fick, traitements thermiques et frigorifiques</b>        | <b>327</b> |
| 7.1 Transferts de chaleur et de matière par conduction.<br>Lois de Fourier et de Fick | 327        |
| 7.2 Traitements industriels de destruction thermique des micro-organismes             | 346        |
| 7.3 Réfrigération et congélation                                                      | 369        |
| 7.4 Techniques de conservation non thermiques et combinées                            | 381        |
| <b>8 • Opérations d'agitation-mélange et de texturation mécanique de la matière</b>   | <b>385</b> |
| 8.1 Agitation de liquides et opérations de mélange biphasique                         | 385        |
| 8.2 Génération de systèmes dispersés                                                  | 391        |
| 8.3 Pétrissage et mise en forme des pâtes                                             | 397        |
| <b>9 • Séchage, cuisson, cuisson-extrusion</b>                                        | <b>405</b> |
| 9.1 Séchage                                                                           | 405        |
| 9.2 Cuisson                                                                           | 431        |
| 9.3 Texturation par cuisson-extrusion                                                 | 441        |
| <b>10 • Opérations mécaniques sur les solides divisés</b>                             | <b>455</b> |
| 10.1 Mécanique des poudres en vrac                                                    | 455        |
| 10.2 Lits fixes et fluidisés                                                          | 464        |
| 10.3 Transport pneumatique                                                            | 467        |
| 10.4 Broyage                                                                          | 471        |
| 10.5 Agglomération et enrobage                                                        | 473        |
| 10.6 Classification et sélection                                                      | 477        |
| 10.7 Mélange de pulvérulents à sec et ségrégation                                     | 481        |
| <b>11 • Opérations mécaniques sur objets individualisés</b>                           | <b>491</b> |
| 11.1 Définition des opérations manufacturières                                        | 491        |
| 11.2 Opérations de mise en forme                                                      | 492        |
| 11.3 Opérations de séparation                                                         | 494        |
| 11.4 Opérations d'assemblage                                                          | 494        |
| 11.5 Manutention d'objets                                                             | 497        |
| 11.6 Problèmes spécifiques aux opérations manufacturières                             | 498        |
| <b>12 • Hygiène des procédés</b>                                                      | <b>501</b> |
| 12.1 Hygiène des surfaces : nettoyage, désinfection et rinçage                        | 501        |
| 12.2 Maîtrise de la contamination aéroportée                                          | 510        |
| 12.3 Biocontamination d'origine humaine                                               | 513        |
| 12.4 Contamination par les nuisibles : insectes, rongeurs et oiseaux                  | 514        |

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>13 • Des opérations unitaires au procédé</b>            | <b>515</b> |
| 13.1 Simulation et optimisation des schémas de fabrication | 515        |
| 13.2 Conduite et automatisation des procédés               | 517        |
| 13.3 Qualité et sécurité alimentaires                      | 519        |
| 13.4 Innovation et génie des procédés alimentaires         | 522        |
| 13.5 Environnement et sécurité du travail                  | 522        |
| 13.6 Aspects économiques                                   | 523        |
| 13.7 Conclusions                                           | 524        |
| <b>Annexes</b>                                             |            |
| <b>A • Mesures, dimensions et unités</b>                   | <b>527</b> |
| <b>B • Tables numériques</b>                               | <b>530</b> |
| <b>C • Diagrammes</b>                                      | <b>540</b> |
| <b>Références bibliographiques</b>                         | <b>549</b> |
| <b>Index</b>                                               | <b>567</b> |