

# Liste des chapitres

Chapitre 1

## **Chitine et chitosane : synthèse, propriétés et principales applications**

G. Crini, É. Guibal, M. Morcellet, G. Torri, P.-M. Badot

Chapitre 2

## **Extraction et caractérisation de la chitine et du chitosane obtenus à partir de biomasses**

E. Galli, A. Lakhdar

Chapitre 3

## **Modifications chimiques du chitosane pour des applications biomédicales et environnementales**

N.M. Alves, J.F. Mano

Chapitre 4

## **Dérivés amphiphiles de la chitine et du chitosane : propriétés rhéologiques, interfaciales et applications**

J. Desbrières

Chapitre 5

## **Systèmes gélifiants de chitosane**

M. Hamdine, M.-C. Heuzey

Chapitre 6

## **Aérogels de chitosane : de nouveaux matériaux plein d'avenir ?**

F. Quignard, M. Robitzer, F. DiRenzo

Chapitre 7

## **Les matériaux bioactifs et biodégradables à base de chitosane**

V. Cosma

Chapitre 8

## **Les applications alimentaires de la chitine et du chitosane**

M. Pérez-Mateos

Chapitre 9

## **Utilisation du chitosane comme agent hypocholestérolémiant**

G. Dupuis et J.-G. LeHoux

Chapitre 10

## **Chitosane et œnologie**

A. Bornet et P.-L. Teissedre

Chapitre 11

## **Ultrafiltration assistée par complexation : utilisation de chitosane pour complexer des métaux lourds**

P. Fievet et G. Crini

Chapitre 12

## **Interactions chitosane-particules colloïdales : synergie avec les argiles**

A. Azzouz

Chapitre 13

## **Adsorption de colorants sur du chitosane**

G. Crini, É. Guibal, N. Morin-Crini, A. Szygula, P.-M. Badot, F. Degiorgi

# Sommaire

|   |    |   |    |
|---|----|---|----|
| FOREWORD<br>George A.F. Roberts . . . . .   | 13 | 5. Principales applications de la chitine et du<br>chitosane . . . . .  | 38 |
| PRÉFACE<br>George A.F. Roberts . . . . .  | 15 | 5.1. Domaines biomédical et pharmaceutique . .  | 38 |
| AVANT-PROPOS<br>Grégorio Crini, Pierre-Marie Badot et Éric Guibal . . .   | 17 | 5.2. Cosmétique . . . . .   | 43 |
| CHAPITRE 1<br><b>Chitine et Chitosane. Préparation, propriétés<br/>et principales applications</b><br>Grégorio Crini, Éric Guibal, Michel Morcellet,<br>Giangiacomo Torri et Pierre-Marie Badot . . . . . | 19 | 5.3. Agroalimentaire . . . . .  | 44 |
| 1. Introduction . . . . .   | 20 | 5.4. Agriculture . . . . .  | 46 |
| 2. Chitine et chitosane . . . . .   | 22 | 5.5. Traitement des eaux . . . . .  | 47 |
| 2.1. La découverte de la chitine. . . . .   | 22 | 5.6. Autres domaines d'application . . . . .  | 48 |
| 2.2. Sources de chitine. . . . .  | 23 | 6. Conclusions. . . . .   | 50 |
| 2.3. Préparation de la chitine et du chitosane . . .  | 24 | Références . . . . .  | 50 |
| 2.4. Structure chimique. . . . .  | 26 | Pour en savoir plus . . . . .   | 54 |
| 2.5. Degré de désacétylation. . . . .   | 26 | CHAPITRE 2<br><b>Extraction et caractérisation de la chitine<br/>et du chitosane obtenus à partir de biomasses</b><br>Emanuela Galli et Abdelbasset Lakhdar . . . . . | 55 |
| 2.6. Masse moléculaire . . . . .  | 27 | 1. Introduction . . . . .   | 56 |
| 3. Propriétés de la chitine et du chitosane . . . . .   | 28 | 2. Sources de chitine et chitosane . . . . .  | 57 |
| 3.1. Cristallinité . . . . .  | 28 | 3. Extraction de la chitine. . . . .  | 58 |
| 3.2. Solubilité. . . . .  | 29 | 4. Préparation du chitosane . . . . .   | 60 |
| 3.3. Polyélectrolytes en milieu acide . . . . .   | 30 | 5. Caractérisation de la chitine et du chitosane  | 61 |
| 3.4. Propriétés physiques et chimiques. . . . .   | 31 | 6. Conclusions. . . . .   | 63 |
| 3.5. Propriétés biologiques . . . . .   | 32 | Références . . . . .  | 63 |
| 4. Modifications de la chitine et du chitosane. . . . .   | 33 | CHAPITRE 3<br><b>Modifications chimiques du chitosane pour des<br/>applications biomédicales et environnementales</b><br>Natália M. Alves et João F. Mano . . . . .   | 67 |
| 4.1. Modifications physiques . . . . .  | 35 | 1. Introduction . . . . .   | 68 |
| 4.2. Modifications chimiques. . . . .   | 36 | 2. Greffage par copolymérisation. . . . .   | 69 |
| 4.3. Conditionnement des matériaux . . . . .  | 37 | 2.1. Greffage initié par des radicaux libres . . . . .  | 69 |
|   |    | 2.2. Greffage par radiation. . . . .  | 71 |

|  |           |  |            |
|--|-----------|--|------------|
| 2.3. Greffage enzymatique . . . . .  | 72        | 3.2.1. Rôle de la concentration . . . . .  | 96         |
| 2.4. Greffage par polymérisation cationique. . . . .   | 72        | 3.2.2. Rôle de la température. . . . .   | 97         |
| <b>3. Cas particuliers de modification chimique de la chitine et du chitosane . . . . .</b>                      | <b>73</b> | <b>4. Systèmes amphiphiles à base de chitine et chitosane : propriétés interfaciales . . . . .</b> | <b>98</b>  |
| 3.1. Dérivés phosphoriques de la chitine et du chitosane . . . . .   | 73        | 4.1. Structure et architecture . . . . .   | 98         |
| 3.2. Greffage de cyclodextrines. . . . .   | 74        | 4.2. Propriétés Interfaciales . . . . .  | 99         |
| 3.3. Chitosane soufré. . . . .   | 77        | 4.2.1. Activité interfaciale de dérivés de la chitine . . . . .                                    | 99         |
| <b>4. Le chitosane « intelligent » : exemple de nouveaux hydrogels à caractère thermo-réversible . . . . .</b>   | <b>77</b> | 4.2.2. Tension de surface et viscoélasticité des couches d'adsorption . . . . .                    | 100        |
| 4.1. Hydrogels obtenus par copolymérisation par greffage . . . . .   | 78        | <b>5. Applications . . . . .</b>   | <b>102</b> |
| 4.2. Mélanges obtenus par réticulation chimique . . . . .  | 79        | 5.1. Applications cosmétiques. . . . .   | 102        |
| <b>5. Applications des matériaux à base de chitosane modifié . . . . .</b>                                       | <b>81</b> | 5.2. Applications biomédicales. . . . .  | 102        |
| 5.1. Relargage de principes actifs pharmaceutiques. . . . .  | 81        | 5.2.1. Encapsulation et relargage . . . . .  | 102        |
| 5.2. Ingénierie tissulaire. . . . .  | 82        | 5.2.2. Transfection. . . . .   | 103        |
| 5.3. Agents anti-microbiens et autres applications biomédicales. . . . .   | 83        | 5.2.3. Adsorption de protéines. . . . .  | 103        |
| 5.4. Adsorption de métaux lourds. . . . .  | 83        | <b>6. Conclusion . . . . .</b>   | <b>104</b> |
| 5.5. Elimination de colorants . . . . .  | 84        | <b>Remerciements . . . . .</b>   | <b>104</b> |
| <b>6. Conclusions. . . . .</b>   | <b>85</b> | <b>Références . . . . .</b>  | <b>104</b> |
| <b>Références . . . . .</b>  | <b>85</b> | <b>CHAPITRE 5</b>  |            |
| <b>CHAPITRE 4</b>  |           | <b>Systèmes gélifiants de chitosane</b>  |            |
| <b>Dérivés amphiphiles de la chitine et du chitosane. Propriétés rhéologiques, interfaciales et applications</b> |           | Mélina Hamdine et Marie-Claude Heuzey. . . . .   | 107        |
| Jacques Desbrières. . . . .  | 89        | <b>1. Introduction . . . . .</b>   | <b>108</b> |
| <b>1. Introduction . . . . .</b>   | <b>90</b> | <b>2. Généralités sur les gels . . . . .</b>   | <b>108</b> |
| <b>2. Les systèmes polymères amphiphiles . . . . .</b>   | <b>90</b> | 2.1. Définition . . . . .  | 108        |
| 2.1. Architectures . . . . .   | 90        | 2.2. Types de gels . . . . .   | 109        |
| 2.1.1. Copolymères à blocs . . . . .   | 90        | 2.3. Caractérisation. . . . .  | 109        |
| 2.1.2. Polymères greffés. . . . .  | 91        | 2.3.1. Détection des transitions sol-gel et gel-sol. . . . .                                       | 110        |
| 2.1.3. Complexes polyélectrolyte-tensioactif . . . . .   | 92        | 2.3.2. Propriétés mécaniques des gels . . . . .  | 112        |
| 2.1.4. Hydrogels . . . . .   | 92        | 2.3.3 Physico-chimie et morphologie . . . . .  | 112        |
| 2.2. Propriétés spécifiques . . . . .  | 93        | 2.4. Diagrammes de phases . . . . .  | 113        |
| 2.2.1. Association en milieu aqueux . . . . .  | 93        | 2.5. Conformations structurales . . . . .  | 114        |
| 2.2.2. Propriétés aux interfaces. . . . .  | 93        | <b>3. Principaux gels basés sur le chitosane . . . . .</b>   | <b>115</b> |
| 2.2.3. Gonflement . . . . .  | 94        | 3.1. Gels chimiques . . . . .  | 115        |
| <b>3. Dérivés amphiphiles du chitosane : propriétés rhéologiques . . . . .</b>                                   | <b>94</b> | 3.2. Gels physiques (thermoréversibles, pH-réversibles) . . . . .                                  | 116        |
| 3.1. Synthèse et caractérisation . . . . .   | 94        | 3.3. Gels mixtes . . . . .   | 117        |
| 3.2. Propriétés rhéologiques . . . . .   | 96        | <b>4. Aspects réglementaires et applications . . . . .</b>   | <b>118</b> |
|  |           | 4.1. Applications et potentiel d'utilisation . . . . .   | 118        |
|  |           | 4.2. Domaine biomédical. . . . .   | 119        |
|  |           | 4.3. Industrie alimentaire. . . . .  | 120        |
|  |           | 4.4. Agriculture . . . . .   | 122        |
|  |           | 4.5. Industrie textile . . . . .   | 122        |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 4.6. Traitement des eaux . . . . . | 122 |
| <b>5. Conclusions.</b> . . . . .   | 122 |
| <b>Références.</b> . . . . .       | 123 |

## CHAPITRE 6

### **Aérogels de chitosane : de nouveaux matériaux plein d'avenir ?**

Françoise Quignard, Mike Robitzer  
et Francesco DiRenzo . . . . . 127

|   |     |
|---|-----|
| <b>1. Introduction</b> . . . . .  | 128 |
| <b>2. Du gel à l'aérogel.</b> . . . . .   | 128 |
| 2.1 Les différents modes de séchage. . . . .  | 128 |
| 2.2. Le séchage supercritique . . . . .   | 129 |
| 2.3. Analyse texturale . . . . .  | 131 |
| <b>3. Les matériaux que sont les aérogels de chitosane.</b> . . . . .               | 133 |
| 3.1. Contrôle des propriétés texturales. . . . .                                    | 133 |
| 3.2. Accessibilité aux fonctions de surface . . . . .                               | 134 |
| <b>4. Quelques applications pour une chimie « verte »</b> . . . . .                 | 136 |
| 4.1. Aérogel de chitosane comme catalyseur. . . . .                                 | 138 |
| 4.2. Aérogel de chitosane comme support basique, catalyseur bifonctionnel . . . . . | 140 |
| <b>5. Conclusions.</b> . . . . .  | 141 |
| <b>Remerciement.</b> . . . . .  | 142 |
| <b>Références.</b> . . . . .  | 142 |

## CHAPITRE 7

### **Les matériaux bioactifs et biodégradables à base de chitosane**

Véronique Coma. . . . . 145

|   |     |
|---|-----|
| <b>1. Introduction</b> . . . . .  | 146 |
| <b>2. Définitions de la bioactivité et de la biodégradabilité</b> . . . . .                         | 148 |
| 2.1. Bioactivité . . . . .  | 148 |
| 2.1. Biodégradabilité . . . . .   | 148 |
| <b>3. Intérêt du chitosane pour l'élaboration de matériaux bioactifs et biodégradables.</b> . . . . | 149 |
| <b>4. Bioactivité du chitosane.</b> . . . . .   | 152 |
| 4.1. Activité inhibitrice du chitosane et mode d'action . . . . .                                   | 152 |
| 4.1.1 Activité antibactérienne . . . . .  | 152 |
| 4.1.2 Activité antifongique . . . . .   | 153 |
| 4.1.3 Mode d'action . . . . .   | 154 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2. Augmentation de l'activité inhibitrice par modifications chimiques du chitosane . . . . . | 155 |
|--|-----|

### **5. Biodégradabilité du chitosane** . . . . . 158

|   |     |
|---|-----|
| 5.1. Biodégradabilité du chitosane non modifié chimiquement . . . . . | 158 |
| 5.2 Biodégradabilité de chitosanes modifiés chimiquement . . . . .    | 158 |

### **6. Matériaux à base de chitosane et propriétés** 159

|  |     |
|--|-----|
| 6.1. Matériaux homogènes . . . . .                   | 160 |
| 6.2 Matériaux biocomposites ou multicouches. . . . . | 161 |

### **7. Conclusions.** . . . . . 164

### **Références.** . . . . . 164

## CHAPITRE 8

### **Les applications alimentaires du chitosane et dérivés**

Miriam Pérez-Mateos . . . . . 169

#### **1. Introduction** . . . . . 170

#### **2. Chitosane et dérivés** . . . . . 170

#### **3. Le chitosane comme additif alimentaire** . . . . . 171

|   |     |
|---|-----|
| 3.1. Rôle antimicrobien . . . . .                         | 172 |
| 3.2. Effet antioxydant . . . . .                          | 172 |
| 3.3. Capacité de formation de films protecteurs . . . . . | 172 |
| 3.4. Capacités gélifiante et émulsionnante . . . . .      | 174 |

#### **4. Le chitosane comme ingrédient fonctionnel** 174

|  |     |
|--|-----|
| 4.1. Capacité de fixation des graisses . . . . . | 174 |
| 4.2. Capacité prébiotique. . . . .               | 175 |

#### **5. Discussion** . . . . . 175

#### **6. Conclusion** . . . . . 175

#### **Remerciement.** . . . . . 176

#### **Références.** . . . . . 176

## CHAPITRE 9

### **Utilisation du chitosane comme agent hypocholestérolémiant**

Gilles Dupuis et Jean-Guy LeHoux . . . . . 179

#### **1. Introduction** . . . . . 180

#### **2. Le chitosane : un biopolymère aux applications multiples.** . . . . . 181

|  |     |
|--|-----|
| 2.1. Utilisation du chitosane dans le secteur biomédical . . . . . | 181 |
| 2.2. Le chitosane comme excipient . . . . .                        | 181 |

|  |            |
|--|------------|
| 2.3. Le chitosane utilisé dans le traitement des<br>blessures cutanées . . . . .           | 182        |
| 2.4. Le chitosane comme véhicule d'ADN pour<br>la désensibilisation allergique . . . . .   | 182        |
| <b>3. Influence de la taille moléculaire sur les<br/>propriétés du chitosane . . . . .</b> | <b>183</b> |
| 3.1. Production de chitosane de tailles<br>moléculaires définies . . . . .                 | 183        |
| 3.1.1. Procédés chimiques . . . . .  | 183        |
| 3.1.2. Procédés enzymatiques . . . . .   | 183        |
| 3.1.3. Récupération efficace du chitosane à<br>partir d'hydrolysats . . . . .              | 184        |
| <b>4. Le chitosane comme substance<br/>nutraceutique . . . . .</b>                         | <b>185</b> |
| 4.1. Utilisation comme agent amaigrissant . . . . .  | 185        |
| 4.2. Utilisation comme agent<br>hypocholestérolémiant . . . . .                            | 186        |
| 4.2.1. Mécanismes d'action . . . . .   | 186        |
| 4.2.2. Modèles animaux . . . . .   | 188        |
| 4.2.3. Utilisation chez l'homme - études<br>cliniques . . . . .                            | 189        |
| <b>5. Mise en garde sur l'utilisation du chitosane<br/>chez l'homme . . . . .</b>          | <b>191</b> |
| <b>6. Conclusion . . . . .</b>   | <b>192</b> |
| <b>Remerciements . . . . .</b>   | <b>192</b> |
| <b>Références . . . . .</b>  | <b>193</b> |

## CHAPITRE 10

**Chitine-glucane et chitosane en œnologie**

|   |            |
|---|------------|
| Aurélié Bornet et Pierre-Louis Teissedre . . . . .  | 197        |
| <b>1. Introduction . . . . .</b>  | <b>198</b> |
| <b>2. Chitine-glucane et chitosane . . . . .</b>  | <b>199</b> |
| 2.1. Sources de chitine-glucane . . . . .   | 199        |
| 2.2. Sources de chitosane . . . . .   | 199        |
| <b>3. Principales applications du chitine-glucane<br/>et du chitosane en œnologie . . . . .</b> | <b>200</b> |
| 3.1. Effet clarifiant . . . . .   | 200        |
| 3.2. Effet chélateur des métaux lourds :<br>Plomb-Cadmium . . . . .                             | 201        |
| 3.3. Effet chélateur des métaux majeurs :<br>Fer-Cuivre . . . . .                               | 202        |
| 3.4. Effet fixateur de l'ochratoxine A . . . . .  | 204        |
| 3.5. Activité anti-fongique . . . . .   | 205        |
| 3.6. Autres applications . . . . .  | 206        |
| 3.6.1. Effet de désacidification . . . . .  | 206        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.6.2. Activité de fixation des pesticides . . . . .                     | 207        |
| 3.6.3. Activité inhibitrice spécifique de<br>certaines enzymes . . . . . | 207        |
| <b>4. Conclusion . . . . .</b>   | <b>207</b> |
| <b>Références . . . . .</b>  | <b>208</b> |

## CHAPITRE 11

**Ultrafiltration assistée par du chitosane  
pour complexer des ions métalliques.  
Méthode et intérêts**

|   |            |
|---|------------|
| Patrick Fievet et Grégorio Crini . . . . .  | 211        |
| <b>1. Introduction . . . . .</b>  | <b>212</b> |
| <b>2. Les procédés membranaires . . . . .</b>   | <b>212</b> |
| 2.1. Qu'est-ce que la filtration membranaire ? . . . . .                              | 212        |
| 2.2. Comment choisir sa membrane ? . . . . .  | 215        |
| 2.2.1. Nature du matériau . . . . .   | 215        |
| 2.2.2. Perméabilité au solvant . . . . .  | 216        |
| 2.2.3. Seuil de coupure . . . . .   | 216        |
| 2.2.4. Géométrie . . . . .  | 217        |
| 2.3. Principales applications des procédés<br>baromembranaires . . . . .              | 219        |
| <b>3. Ultrafiltration assistée par complexation . . . . .</b>                         | <b>219</b> |
| 3.1. Le couplage complexation-ultrafiltration . . . . .                               | 220        |
| 3.2. Les polymères utilisés en ultrafiltration<br>assistée par complexation . . . . . | 221        |
| 3.3. Pourquoi utiliser du chitosane ? . . . . .                                       | 222        |
| 3.4. Utilisation du chitosane pour complexer<br>des métaux . . . . .                  | 224        |
| <b>4. Conclusion et perspectives . . . . .</b>  | <b>226</b> |
| <b>Références . . . . .</b>   | <b>227</b> |
| Annexe 1 : Ouvrage à consulter . . . . .  | 229        |

## CHAPITRE 12

**Interactions chitosane – particules colloïdales.  
Synergie avec les argiles**

|  |            |
|--|------------|
| Abdelkrim Azzouz . . . . .   | 231        |
| <b>1. Introduction . . . . .</b>   | <b>232</b> |
| <b>2. Propriétés coagulantes du chitosane . . . . .</b>                    | <b>232</b> |
| 2.1. Principe de la coagulation-floculation pour le<br>chitosane . . . . . | 234        |
| 2.2. Déstabilisation de l'état de dispersion . . . . .                     | 234        |
| 2.3. La double couche sur une particule de<br>chitosane . . . . .          | 235        |

|   |            |
|---|------------|
| 2.4. Compression de la double couche<br>(coagulation électrostatique) . . . . .             | 235        |
| 2.5. Adsorption et neutralisation des charges . . .   | 236        |
| <b>3. Flocculation - Emprisonnement des<br/>particules dans un précipité . . . . .</b>      | <b>236</b> |
| 3.1. Adsorption et pontage. . . . .   | 236        |
| 3.2. Flocculation du chitosane . . . . .  | 237        |
| 3.3. Influence des paramètres de coagulation-<br>flocculation . . . . .                     | 239        |
| 3.3.1. Effet du degré de dispersion du<br>chitosane en milieu aqueux . . . . .              | 239        |
| 3.3.2. Interactions avec les cations métalliques  | 240        |
| 3.3.3. Effet de la présence de turbidité initiale   | 242        |
| <b>4. Interactions avec les particules<br/>inorganiques . . . . .</b>                       | <b>243</b> |
| 4.1. Conditions d'interaction avec une particule<br>solide. . . . .                         | 243        |
| 4.2. Les argiles - particules colloïdales . . . . .   | 243        |
| 4.3. Mécanismes d'interactions chitosane - argile   | 244        |
| 4.4. Applications issues des interactions<br>chitosane - argile. . . . .                    | 244        |
| <b>5. Coagulation-flocculation par le mélange<br/>chitosane - montmorillonite . . . . .</b> | <b>245</b> |
| 5.1. Interaction des cations métalliques avec les<br>argiles . . . . .                      | 245        |
| 5.2. Interactions ternaires cations métalliques-<br>chitosane-montmorillonite . . . . .     | 246        |
| 5.3. Rôle de l'eau . . . . .  | 249        |
| <b>6. Interactions avec les composés organiques<br/>dispersés en milieu aqueux. . . . .</b> | <b>249</b> |
| 6.1. Applications dans l'élimination de la matière<br>organique en suspension . . . . .     | 249        |
| 6.2. Modification du chitosane. . . . .   | 250        |
| 6.3. Effet de synergie avec la matière organique. .   | 250        |
| 6.4. Interactions ternaires avec les cations et les<br>molécules organiques. . . . .        | 251        |
| <b>7. Conclusions. . . . .</b>  | <b>252</b> |
| <b>Références . . . . .</b>   | <b>253</b> |

## CHAPITRE 13

### Adsorption de colorants sur du chitosane

Grégorio Crini, Eric Guibal, Nadia Morin-Crini,

Agata Szygula, Pierre-Marie Badot

et François Degiorgi . . . . . 257

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| <b>1. Introduction . . . . .</b> | <b>258</b> |
|----------------------------------|------------|

|   |            |
|---|------------|
| <b>2. Le chitosane, un biopolymère cationique<br/>et versatile . . . . .</b>                | <b>260</b> |
| 2.1. Comment choisir un matériau adsorbant ? .  | 260        |
| 2.2. Pourquoi utiliser du chitosane ? . . . . .   | 260        |
| 2.3. Rappels sur les matériaux de type gel. . . . .   | 262        |
| 2.4. Les gels de chitosane . . . . .  | 264        |
| <b>3. Utilisation du chitosane pour traiter des<br/>eaux colorées . . . . .</b>             | <b>266</b> |
| 3.1. Les différentes voies d'utilisation du<br>chitosane . . . . .                          | 266        |
| 3.2. La méthode d'adsorption liquide/solide dite<br>en <i>batch</i> . . . . .               | 267        |
| 3.3. Revue de la littérature récente . . . . .  | 268        |
| 3.4. Les paramètres affectant la capacité<br>d'adsorption du chitosane . . . . .            | 268        |
| 3.4.1. Influence des caractéristiques du<br>chitosane sur sa capacité d'adsorption. . . . . | 270        |
| 3.4.2. Les conditions d'activation du chitosane   | 274        |
| 3.4.3. Conditions expérimentales utilisées<br>dans le <i>batch</i> . . . . .                | 276        |
| 3.4.4. Caractéristiques des colorants. . . . .  | 279        |
| 3.4.5. pH et variation de pH . . . . .  | 281        |
| 3.4.6. Influence de la présence de sels et de<br>surfactants . . . . .                      | 282        |
| <b>4. Mécanismes d'adsorption. . . . .</b>  | <b>282</b> |
| <b>5. Modélisation . . . . .</b>  | <b>284</b> |
| 5.1. Isothermes d'adsorption . . . . .  | 284        |
| 5.2. Cinétiques d'adsorption . . . . .  | 288        |
| 5.3. Sélectivité . . . . .  | 291        |
| 5.4. Désorption des colorants . . . . .   | 293        |
| <b>6. Principaux problèmes. . . . .</b>   | <b>294</b> |
| <b>7. Conclusions. . . . .</b>  | <b>294</b> |
| <b>Remerciements . . . . .</b>  | <b>295</b> |
| <b>Références . . . . .</b>   | <b>295</b> |
| Pour en savoir plus . . . . .   | 298        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| ADRESSES DES AUTEURS . . . . . | 299 |
|--------------------------------|-----|

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| BIOGRAPHIES DES AUTEURS. . . . . | 301 |
|----------------------------------|-----|

|                     |     |
|---------------------|-----|
| MOTS-CLÉS . . . . . | 305 |
|---------------------|-----|