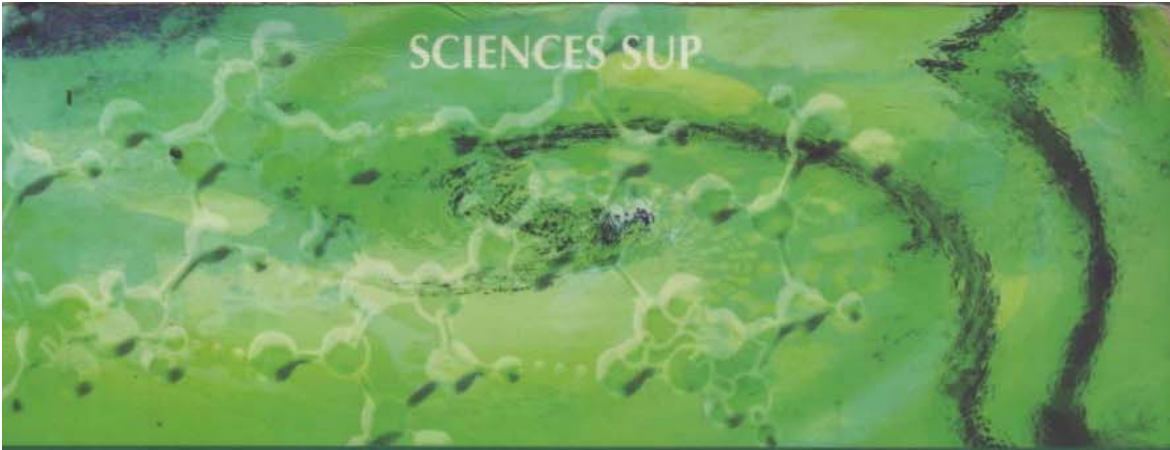




SCIENCES SUP

*Cours et exercices corrigés*

Licence 1<sup>re</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> années • PCEM • Pharmacie • CAPES

# CHIMIE ORGANIQUE

## Les grands principes

*John McMurry*

---

DUNOD

# Sommaire

|          |                                                                                   |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1        | Structure et liaison – Acides et bases                                            | 1   |
| 2        | La nature des composés organiques : les alcanes                                   | 36  |
| 3        | Alcènes : la nature des réactions en chimie organique                             | 77  |
| 4        | Alcènes et alcynes                                                                | 109 |
| 5        | Composés aromatiques                                                              | 150 |
| 6        | Stéréochimie                                                                      | 183 |
| 7        | Halogénoalcanes                                                                   | 217 |
| 8        | Alcools, éthers-oxydes et phénols                                                 | 251 |
| 9        | Aldéhydes et cétones : réactions d'addition nucléophile                           | 281 |
| 10       | Acides carboxyliques et dérivés                                                   | 308 |
| 11       | Réactions de substitution en $\alpha$ d'un carbonyle et réactions de condensation | 352 |
| 12       | Amines                                                                            | 380 |
| 13       | Détermination des structures                                                      | 406 |
| 14       | Biomolécules : glucides                                                           | 440 |
| 15       | Molécules biologiques : acides aminés, peptides et protéines                      | 474 |
| 16       | Biomolécules : lipides et acides nucléiques                                       | 507 |
| 17       | La chimie organique des processus métaboliques                                    | 543 |
| Annexe A | Nomenclature des composés organiques polyfonctionnels                             | 567 |
| Annexe B | Glossaire                                                                         | 574 |
| Annexe C | Réponses à des exercices sélectionnés                                             | 588 |
| Index    |                                                                                   | 604 |
|          | Structure de quelques groupes fonctionnels usuels                                 | 616 |
|          | Tableau périodique des éléments                                                   | 618 |

# Table des matières



## 1

### Structure et liaison – Acides et bases

1

|      |                                                           |    |
|------|-----------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | Structure atomique                                        | 3  |
| 1.2  | Configuration électronique des atomes                     | 4  |
| 1.3  | Développement de la théorie de la liaison chimique        | 6  |
| 1.4  | Nature des liaisons chimiques : les liaisons ioniques     | 7  |
| 1.5  | Nature des liaisons chimiques : les liaisons covalentes   | 8  |
| 1.6  | Formation des liaisons covalentes                         | 10 |
| 1.7  | Hybridation : orbitales $sp^3$ et structure du méthane    | 12 |
| 1.8  | Structure de l'éthane                                     | 14 |
| 1.9  | Hybridation : orbitales $sp^2$ et structure de l'éthylène | 15 |
| 1.10 | Hybridation : orbitales $sp$ et structure de l'acétylène  | 18 |
| 1.11 | Polarité d'une liaison et électronégativité               | 20 |
| 1.12 | Acides et bases : définition de Brønsted-Lowry            | 22 |
| 1.13 | Acides et bases : définition de Lewis                     | 26 |
|      | <i>Encart</i> – Produits chimiques, toxicité et risques   | 28 |
|      | Résumé et mots-clés                                       | 29 |
|      | Exercices supplémentaires                                 | 30 |

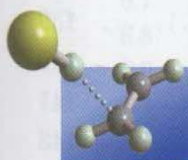


## 2

### La nature des composés organiques : les alcanes 36

|     |                                       |    |
|-----|---------------------------------------|----|
| 2.1 | Groupes fonctionnels                  | 36 |
| 2.2 | Alcanes et groupes alkyles : isomères | 41 |
| 2.3 | Nomenclature des alcanes ramifiés     | 47 |
| 2.4 | Propriétés des alcanes                | 50 |

|      |                                                      |    |
|------|------------------------------------------------------|----|
| 2.5  | Conformations de l'éthane                            | 51 |
| 2.6  | Dessiner les structures chimiques                    | 55 |
| 2.7  | Cycloalcanes                                         | 57 |
| 2.8  | Isomérisation <i>cis-trans</i> dans les cycloalcanes | 58 |
| 2.9  | Conformations de quelques cycloalcanes usuels        | 60 |
| 2.10 | Liaisons axiales et équatoriales dans le cyclohexane | 63 |
| 2.11 | Équilibre conformationnel du cyclohexane             | 65 |
|      | Encart – Le pétrole                                  | 67 |
|      | Résumé et mots-clés                                  | 69 |
|      | Exercices supplémentaires                            | 70 |



### 3

## Alcènes : la nature des réactions en chimie organique

77

|      |                                                                          |     |
|------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1  | Nomenclature                                                             | 78  |
| 3.2  | Structure électronique des alcènes                                       | 80  |
| 3.3  | Isomérisation <i>cis/trans</i> des alcènes                               | 82  |
| 3.4  | Règles séquentielles : nomenclature E, Z                                 | 85  |
| 3.5  | Les grandes familles de réactions organiques                             | 88  |
| 3.6  | Comment les réactions se font-elles ? : mécanismes                       | 90  |
| 3.7  | Exemple de réaction hétérolytique : l'addition de HCl sur l'éthylène     | 92  |
| 3.8  | Mécanisme d'une réaction : l'addition de HCl sur l'éthylène              | 93  |
| 3.9  | Description d'une réaction : vitesse et équilibre                        | 95  |
| 3.10 | Description d'une réaction : diagrammes d'énergie et états de transition | 97  |
| 3.11 | Description d'une réaction : intermédiaires réactionnels                 | 99  |
|      | Encart – Carottes, alcènes et la chimie de la vision                     | 101 |
|      | Résumé et mots-clés                                                      | 103 |
|      | Exercices supplémentaires                                                | 104 |



### 4

## Alcènes et alcynes

109

|     |                                                                                  |     |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1 | Addition de HX sur les alcènes : hydrohalogénéation                              | 110 |
| 4.2 | Régiosélectivité des réactions d'addition sur les alcènes : règle de Markovnikov | 111 |
| 4.3 | Structure et stabilité des carbocations                                          | 113 |
| 4.4 | Addition de H <sub>2</sub> O sur les alcènes : hydratation                       | 115 |

## VI Table des matières

|      |                                                                                        |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5  | Addition de $X_2$ sur les alcènes : halogénéation                                      | 117 |
| 4.6  | Addition de $H_2$ sur les alcènes : hydrogénation                                      | 120 |
| 4.7  | Oxydation des alcènes                                                                  | 121 |
| 4.8  | Polymérisation des alcènes                                                             | 122 |
| 4.9  | Préparation des alcènes <i>via</i> les réactions d'élimination                         | 125 |
| 4.10 | Diènes conjugués                                                                       | 128 |
| 4.11 | Stabilité des carbocations allyliques : résonance                                      | 130 |
| 4.12 | Représentation et interprétation des formes de résonance                               | 132 |
| 4.13 | Alcynes                                                                                | 135 |
| 4.14 | Réactivité des alcynes : addition de $H_2$ , $HX$ et $X_2$<br>sur les triples liaisons | 136 |
| 4.15 | Addition de $H_2O$ sur les alcynes                                                     | 137 |
| 4.16 | Acidité des alcynes : formation de l'anion acétylure                                   | 139 |
|      | <i>Encart</i> – Le caoutchouc naturel                                                  | 140 |
|      | Résumé et mots-clés                                                                    | 141 |
|      | Résumé des réactions                                                                   | 143 |
|      | Exercices supplémentaires                                                              | 145 |



# 5

## Composés aromatiques

150

|      |                                                                                                   |     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1  | Structure du benzène : formule de Kekulé                                                          | 151 |
| 5.2  | Stabilité du benzène                                                                              | 152 |
| 5.3  | Structure du benzène : la théorie de la résonance                                                 | 152 |
| 5.4  | Nomenclature des composés aromatiques                                                             | 154 |
| 5.5  | Chimie du benzène : réactions de substitution<br>électrophile aromatique                          | 156 |
| 5.6  | Bromation du benzène                                                                              | 157 |
| 5.7  | Autres réactions de substitution électrophile aromatique                                          | 160 |
| 5.8  | Réactions d'alkylation et d'acylation de Friedel-Crafts                                           | 162 |
| 5.9  | Effets de substituant dans la substitution électrophile aromatique                                | 164 |
| 5.10 | Explication des effets de substituant                                                             | 166 |
| 5.11 | Oxydation et réduction des composés aromatiques                                                   | 169 |
| 5.12 | Hydrocarbures aromatiques polycycliques                                                           | 170 |
| 5.13 | Synthèse organique                                                                                | 171 |
|      | <i>Encart</i> – Aspirine et autres médicaments anti-inflammatoires<br>non stéroïdiens aromatiques | 174 |
|      | Résumé et mots-clés                                                                               | 176 |
|      | Résumé des réactions                                                                              | 177 |
|      | Exercices supplémentaires                                                                         | 178 |



## 6

## Stéréochimie

183

|      |                                                                                 |     |
|------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1  | Stéréochimie et le carbone tétraédrique .....                                   | 183 |
| 6.2  | Origine de l'asymétrie des molécules : la chiralité .....                       | 185 |
| 6.3  | Activité optique .....                                                          | 190 |
| 6.4  | Pouvoir rotatoire spécifique .....                                              | 191 |
| 6.5  | Découverte des énantiomères par Pasteur .....                                   | 192 |
| 6.6  | Règles séquentielles permettant de définir<br>les configurations absolues ..... | 194 |
| 6.7  | Diastéréoisomères .....                                                         | 196 |
| 6.8  | Composés méso .....                                                             | 199 |
| 6.9  | Molécules avec plus de deux carbones asymétriques .....                         | 200 |
| 6.10 | Mélanges racémiques et dédoublement d'énantiomères .....                        | 201 |
| 6.11 | Propriétés physiques des stéréoisomères .....                                   | 204 |
| 6.12 | Bref résumé de l'isomérisation .....                                            | 205 |
| 6.13 | Stéréochimie des réactions : addition de HBr sur les alcènes .....              | 207 |
| 6.14 | Chiralité dans la nature .....                                                  | 207 |
|      | <i>Encart</i> – Produits pharmaceutiques chiraux .....                          | 209 |
|      | Résumé et mots-clés .....                                                       | 211 |
|      | Exercices supplémentaires .....                                                 | 211 |



## 7

## Halogénoalcanes

217

|      |                                                                            |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1  | Nomenclature des halogénoalcanes .....                                     | 218 |
| 7.2  | Préparation des halogénoalcanes : chloration radicalaire des alcanes ..... | 219 |
| 7.3  | Halogénoalcanes à partir des alcools .....                                 | 222 |
| 7.4  | Réactions des halogénoalcanes : réactifs de Grignard .....                 | 223 |
| 7.5  | Réactions de substitution nucléophile : la découverte .....                | 225 |
| 7.6  | Types de réactions de substitution nucléophile .....                       | 226 |
| 7.7  | La réaction $S_N2$ .....                                                   | 228 |
| 7.8  | La réaction $S_N1$ .....                                                   | 232 |
| 7.9  | Éliminations : la réaction E2 .....                                        | 236 |
| 7.10 | Éliminations : la réaction E1 .....                                        | 239 |
| 7.11 | Résumé sur la réactivité : $S_N1$ , $S_N2$ , E1, E2 .....                  | 239 |
| 7.12 | Réactions de substitution dans les organismes vivants .....                | 242 |
|      | <i>Encart</i> – Composés organohalogénés rencontrés dans la nature .....   | 243 |
|      | Résumé et mots-clés .....                                                  | 244 |
|      | Résumé des réactions .....                                                 | 245 |
|      | Exercices supplémentaires .....                                            | 246 |



## 8

## Alcools, éthers-oxydes et phénols

251

|      |                                                                                                     |     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1  | Nomenclature des alcools, des phénols et des éthers-oxydes . . . . .                                | 252 |
| 8.2  | Propriétés des alcools, des phénols et des éthers-oxydes :<br>la liaison hydrogène . . . . .        | 254 |
| 8.3  | Propriétés des alcools et des phénols : l'acidité . . . . .                                         | 256 |
| 8.4  | Synthèse des alcools . . . . .                                                                      | 258 |
| 8.5  | Alcools obtenus à partir de composés carbonylés . . . . .                                           | 259 |
| 8.6  | Éthers-oxydes obtenus à partir d'alcools :<br>la synthèse de Williamson des éthers-oxydes . . . . . | 261 |
| 8.7  | Réactivité des alcools . . . . .                                                                    | 263 |
| 8.8  | Synthèse et réactivité des phénols . . . . .                                                        | 265 |
| 8.9  | Réactions des éthers-oxydes : le clivage en milieu acide . . . . .                                  | 267 |
| 8.10 | Éthers-oxydes cycliques : époxydes . . . . .                                                        | 268 |
| 8.11 | Réaction d'ouverture des époxydes . . . . .                                                         | 269 |
| 8.12 | Thiols et sulfures . . . . .                                                                        | 270 |
|      | <i>Encart</i> – L'éthanol : substance chimique, drogue et poison . . . . .                          | 272 |
|      | Résumé et mots-clés . . . . .                                                                       | 274 |
|      | Sommaire des réactions . . . . .                                                                    | 275 |
|      | Exercices supplémentaires . . . . .                                                                 | 276 |

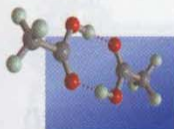


## 9

Aldéhydes et cétones :  
réactions d'addition nucléophile

281

|      |                                                                     |     |
|------|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.1  | Types de composés carbonylés . . . . .                              | 282 |
| 9.2  | Structure et propriétés des groupes carbonyles . . . . .            | 283 |
| 9.3  | Nomenclature des aldéhydes et des cétones . . . . .                 | 284 |
| 9.4  | Synthèse des aldéhydes et des cétones . . . . .                     | 286 |
| 9.5  | Oxydation des aldéhydes . . . . .                                   | 287 |
| 9.6  | Réactions des aldéhydes et des cétones : additions nucléophiles . . | 288 |
| 9.7  | Additions nucléophiles d'eau : hydratation . . . . .                | 290 |
| 9.8  | Addition nucléophile des alcools : formation d'acétals . . . . .    | 292 |
| 9.9  | Addition nucléophile des amines : formation d'imines . . . . .      | 295 |
| 9.10 | Addition nucléophile des réactifs de Grignard : formation d'alcools | 296 |
| 9.11 | Quelques réactions d'addition biologiques . . . . .                 | 298 |
|      | <i>Encart</i> – Les molécules coupe-faim pour insectes . . . . .    | 300 |
|      | Résumé et mots-clés . . . . .                                       | 301 |
|      | Résumé des réactions . . . . .                                      | 302 |
|      | Exercices supplémentaires . . . . .                                 | 302 |

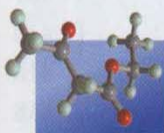


# 10

## Acides carboxyliques et dérivés

308

|       |                                                                                 |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.1  | Nomenclature des acides carboxyliques et de leurs dérivés . . . . .             | 309 |
| 10.2  | Structure et propriétés des acides carboxyliques . . . . .                      | 313 |
| 10.3  | Acidité des acides carboxyliques . . . . .                                      | 313 |
| 10.4  | Synthèse des acides carboxyliques . . . . .                                     | 316 |
| 10.5  | Réaction de substitution nucléophile sur le groupe acyle . . . . .              | 318 |
| 10.6  | Réactivité des acides carboxyliques . . . . .                                   | 321 |
| 10.7  | Réactivité des halogénures d'acyle . . . . .                                    | 325 |
| 10.8  | Réactivité des anhydrides d'acide . . . . .                                     | 327 |
| 10.9  | Réactivité des esters . . . . .                                                 | 329 |
| 10.10 | Réactivité des amides . . . . .                                                 | 334 |
| 10.11 | Réactivité des nitriles . . . . .                                               | 336 |
| 10.12 | Nylons et polyesters : polymères de condensation . . . . .                      | 339 |
|       | <i>Encart</i> – Les antibiotiques de la famille des $\beta$ -lactames . . . . . | 342 |
|       | Résumé et mots-clés . . . . .                                                   | 343 |
|       | Sommaire des réactions . . . . .                                                | 344 |
|       | Exercices supplémentaires . . . . .                                             | 346 |



# 11

## Réactions de substitution en $\alpha$ d'un carbonyle et réactions de condensation

352

|       |                                                                                      |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.1  | Tautomérie céto-énolique . . . . .                                                   | 353 |
| 11.2  | Réactivité des énols : mécanisme des réactions de substitution en $\alpha$ . . . . . | 356 |
| 11.3  | Halogénéation en $\alpha$ des aldéhydes et des cétones . . . . .                     | 356 |
| 11.4  | Acidité des atomes d'hydrogène en $\alpha$ : formation de l'ion énolate . . . . .    | 358 |
| 11.5  | Réactivité des ions énolates . . . . .                                               | 362 |
| 11.6  | Alkylation des ions énolates . . . . .                                               | 363 |
| 11.7  | Réactions de condensation de carbonyle . . . . .                                     | 365 |
| 11.8  | Condensations des aldéhydes et des cétones : réaction d'aldolisation . . . . .       | 366 |
| 11.9  | Déshydratation des produits d'aldolisation : synthèse d'énones . . . . .             | 368 |
| 11.10 | Condensations des esters : réaction de condensation de Claisen . . . . .             | 369 |
|       | <i>Encart</i> – Les composés carbonylés dans le métabolisme . . . . .                | 372 |
|       | Résumé et mots-clés . . . . .                                                        | 373 |
|       | Résumé des réactions . . . . .                                                       | 374 |
|       | Exercices supplémentaires . . . . .                                                  | 375 |

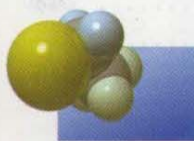


# 12

## Amines

380

|      |                                                    |     |
|------|----------------------------------------------------|-----|
| 12.1 | Nomenclature des amines .....                      | 382 |
| 12.2 | Structure et propriétés des amines .....           | 384 |
| 12.3 | Basicité des amines .....                          | 384 |
| 12.4 | Synthèse des amines .....                          | 387 |
| 12.5 | Réactivité des amines .....                        | 390 |
| 12.6 | Amines hétérocycliques .....                       | 394 |
|      | <i>Encart – Amines naturelles très répandues :</i> |     |
|      | la morphine et les alcaloïdes .....                | 397 |
|      | Résumé et mots-clés .....                          | 399 |
|      | Sommaire des réactions .....                       | 400 |
|      | Exercices supplémentaires .....                    | 401 |



# 13

## Détermination des structures

406

|       |                                                                       |            |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 13.1  | Spectroscopie infrarouge et spectre électromagnétique .....           | 407        |
| 13.2  | Spectroscopie infrarouge des molécules organiques .....               | 410        |
| 13.3  | Spectroscopie ultraviolette .....                                     | 415        |
| 13.4  | Interprétation des spectres ultraviolets : effet de la conjugaison .. | 416        |
| 13.5  | Spectroscopie de résonance magnétique nucléaire .....                 | 418        |
| 13.6  | Nature des absorptions RMN .....                                      | 419        |
| 13.7  | Déplacements chimiques .....                                          | 422        |
| 13.8  | Déplacements chimiques dans les spectres RMN .....                    | 423        |
| 13.9  | Intégration des spectres RMN $^1\text{H}$ : nombre de protons .....   | 424        |
| 13.10 | Couplage spin-spin dans les spectres RMN $^1\text{H}$ .....           | 425        |
| 13.11 | Application des spectres RMN $^1\text{H}$ .....                       | 429        |
| 13.12 | Spectroscopie RMN $^{13}\text{C}$ .....                               | 430        |
|       | <i>Encart – Imagerie par résonance magnétique (IRM) .....</i>         | <i>432</i> |
|       | Résumé et mots-clés .....                                             | 433        |
|       | Exercices supplémentaires .....                                       | 435        |



# 14

## Biomolécules : glucides

440

|       |                                                                          |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 14.1  | Classification des glucides .....                                        | 441 |
| 14.2  | Configurations des monosaccharides : projections de Fischer .....        | 443 |
| 14.3  | Sucres de la série D et L .....                                          | 445 |
| 14.4  | Configurations des aldoses .....                                         | 447 |
| 14.5  | Structures cycliques des monosaccharides : formation d'hémiacétals ..... | 448 |
| 14.6  | Formes anomères des monosaccharides : mutarotation .....                 | 452 |
| 14.7  | Conformations des monosaccharides .....                                  | 454 |
| 14.8  | Réactivité des monosaccharides .....                                     | 454 |
| 14.9  | Disaccharides .....                                                      | 460 |
| 14.10 | Polysaccharides .....                                                    | 462 |
| 14.11 | Autres glucides importants .....                                         | 464 |
| 14.12 | Glucides à la surface des cellules .....                                 | 465 |
|       | <i>Encart</i> – Goût sucré .....                                         | 467 |
|       | Résumé et mots-clés .....                                                | 468 |
|       | Exercices supplémentaires .....                                          | 469 |

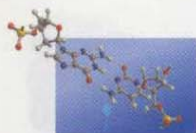


# 15

## Molécules biologiques : acides aminés, peptides et protéines

474

|       |                                                                                 |     |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.1  | Structure des acides aminés .....                                               | 475 |
| 15.2  | Structure dipolaire des acides aminés .....                                     | 478 |
| 15.3  | Points isoélectriques .....                                                     | 480 |
| 15.4  | Peptides et protéines .....                                                     | 481 |
| 15.5  | Liaison covalente dans les peptides .....                                       | 484 |
| 15.6  | Détermination de la structure d'un peptide :<br>analyse des acides aminés ..... | 484 |
| 15.7  | Séquençage d'un peptide : la dégradation d'Edman .....                          | 486 |
| 15.8  | Synthèse peptidique .....                                                       | 488 |
| 15.9  | Classification des protéines .....                                              | 491 |
| 15.10 | Structure des protéines .....                                                   | 492 |
| 15.11 | Enzymes .....                                                                   | 497 |
| 15.12 | Structure et classification des enzymes .....                                   | 497 |
|       | <i>Encart</i> – Protéines et nutrition .....                                    | 500 |
|       | Résumé et mots-clés .....                                                       | 501 |
|       | Exercices supplémentaires .....                                                 | 502 |



# 16

## Biomolécules : lipides et acides nucléiques 507

|       |                                                                   |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 16.1  | Lipides .....                                                     | 507 |
| 16.2  | Graisses et huiles .....                                          | 508 |
| 16.3  | Savons .....                                                      | 511 |
| 16.4  | Phospholipides .....                                              | 513 |
| 16.5  | Stéroïdes .....                                                   | 515 |
| 16.6  | Acides nucléiques et nucléotides .....                            | 517 |
| 16.7  | Structure de l'ADN .....                                          | 519 |
| 16.8  | Les paires de bases dans l'ADN : le modèle de Watson et Crick ... | 522 |
| 16.9  | Acides nucléiques et hérédité .....                               | 524 |
| 16.10 | Réplication de l'ADN .....                                        | 525 |
| 16.11 | Structure et synthèse de l'ARN : transcription .....              | 527 |
| 16.12 | Biosynthèse de l'ARN et des protéines : traduction .....          | 528 |
| 16.13 | Séquençage de l'ADN .....                                         | 532 |
| 16.14 | « Méthode PCR » ( <i>Polymerase chain reaction</i> ) .....        | 536 |
|       | <i>Encart</i> – Cholestérol et maladies du cœur .....             | 538 |
|       | Sommaire et mots-clés .....                                       | 539 |
|       | Exercices supplémentaires .....                                   | 540 |



# 17

## La chimie organique des processus métaboliques 543

|      |                                                                |     |
|------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 17.1 | Un survol du métabolisme et de l'énergie biochimique .....     | 543 |
| 17.2 | Catabolisme des graisses : voie de la $\beta$ -oxydation ..... | 547 |
| 17.3 | Catabolisme des glucides : glycolyse .....                     | 552 |
| 17.4 | Le cycle de Krebs (cycle de l'acide citrique) .....            | 557 |
| 17.5 | Catabolisme des protéines : transamination .....               | 560 |
|      | <i>Encart</i> – Métabolisme de base .....                      | 562 |
|      | Résumé et mots-clés .....                                      | 563 |
|      | Exercices supplémentaires .....                                | 564 |

### Annexe A

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| Nomenclature des composés organiques polyfonctionnels ..... | 567 |
|-------------------------------------------------------------|-----|

### Annexe B

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Glossaire ..... | 574 |
|-----------------|-----|

### Annexe C

|                                             |     |
|---------------------------------------------|-----|
| Réponses à des exercices sélectionnés ..... | 588 |
|---------------------------------------------|-----|

|             |     |
|-------------|-----|
| Index ..... | 604 |
|-------------|-----|

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| Structure de quelques groupes fonctionnels usuels ..... | 616 |
|---------------------------------------------------------|-----|

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Tableau périodique des éléments ..... | 618 |
|---------------------------------------|-----|