

McQuarrie

Rock

Gallogly

# Chimie générale

Traduction de la 4<sup>e</sup> édition américaine par Jean Toullec  
3<sup>e</sup> édition



de boeck

# TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos xv

Préface à l'édition américaine xix

Préface à la 3<sup>e</sup> édition française xxi

## 1. Chimie et méthode scientifique 1

- 1-1 L'étude de la chimie 1
- 1-2 La méthode scientifique 3
- 1-3 Mesures quantitatives 5
- 1-4 Le système métrique 7
- 1-5 Unités d'énergie 13
- 1-6 Exactitude et pourcentage d'erreur 17
- 1-7 Précision et chiffres significatifs 20
- 1-8 Nombre de chiffres significatifs dans les calculs 22
- 1-9 Analyse dimensionnelle 25
- 1-10 Notation de Guggenheim 30

## 2. Atomes et molécules 41

- 2-1 Éléments et symboles chimiques 41
- 2-2 Les états de la matière 44
- 2-3 Séparation des constituants des mélanges 45
- 2-4 Loi des proportions définies 49
- 2-5 Théorie atomique de Dalton 51
- 2-6 Molécules 54
- 2-7 Nomenclature chimique 55
- 2-8 Masses atomiques et masses moléculaires 58
- 2-9 Le noyau 59
- 2-10 Protons, neutrons et électrons 62
- 2-11 Isotopes 63
- 2-12 Ions 68

## 3. Tableau périodique et périodicité chimique 79

- 3-1 Réactions chimiques 79
- 3-2 Équations chimiques 81
- 3-3 Regroupement des éléments d'après leurs propriétés 85
- 3-4 Périodicité 88
- 3-5 Groupes d'éléments 90
- 3-6 Classification des éléments 94
- 3-7 Tendances périodiques 97

## 4. Les prémices de la mécanique quantique 105

- 4-1 Énergies de première ionisation 105
- 4-2 Énergies d'ionisation et périodicité 107
- 4-3 Le spectre électromagnétique 111
- 4-4 Spectre de raies des atomes 114
- 4-5 Photons 116
- 4-6 Longueur d'onde de De Broglie 120
- 4-7 Dualité onde-particule 121
- 4-8 Quantification de l'énergie 122
- 4-9 Transitions électroniques 124

## 5. Mécanique quantique et structure atomique 137

- 5-1 L'équation de Schrödinger 137
- 5-2 Nombre quantique azimutal 141
- 5-3 Nombre quantique magnétique 144
- 5-4 Spin électronique 145
- 5-5 Niveaux d'énergie des atomes 150
- 5-6 Principe d'exclusion de Pauli 151
- 5-7 Configurations électroniques 153
- 5-8 Règle de Hund 154
- 5-9 États excités 156
- 5-10 Configuration électronique et périodicité 157
- 5-11 Métaux de transition, lanthanides et actinides 160
- 5-12 Rayons atomiques, énergies d'ionisation et périodicité 162

## 6. Composés et liaisons ioniques 171

- 6-1 Liaisons ioniques 171
- 6-2 Charges ioniques et formules chimiques 176
- 6-3 Ions des métaux de transition 177
- 6-4 Nomenclature électronique des ions de métaux de transition 179
- 6-5 Configuration électronique des ions de métaux de transition 181
- 6-6 Taille des ions 183
- 6-7 Énergie des liaisons ioniques 185



## 7. Formules de Lewis 197

- 7-1 Liaisons covalentes 197
- 7-2 Règle de l'octet et formules de Lewis 199
- 7-3 Atomes d'hydrogène, atomes terminaux des formules de Lewis 202
- 7-4 Charges formelles 205
- 7-5 Liaisons multiples 209
- 7-6 Hybrides de résonance 212
- 7-7 Radicaux libres 216
- 7-8 Extensions de la règle de l'octet 218
- 7-9 Électronégativité 222
- 7-10 Liaisons polaires 224
- 7-11 Moments dipolaires 226

## 8. Prédiction de la géométrie moléculaire 235

- 8-1 Géométrie moléculaire 235
- 8-2 Le tétraèdre régulier 236
- 8-3 La théorie RPECV/VSEPR 237
- 8-4 Géométrie et nombre de paires d'électrons 239
- 8-5 Géométrie et doublets libres 242
- 8-6 Géométrie et liaisons multiples 244
- 8-7 Composés bipyramidaux trigonaux 249
- 8-8 Composés octaédriques 251
- 8-9 Structure et moments dipolaires 253
- 8-10 Isomères optiques 255

## 9. Liaison covalente 267

- 9-1 Orbitales moléculaires 267
- 9-2 Orbitales moléculaires de  $H_2^+$  268
- 9-3 Ordre de liaison 274
- 9-4 Configuration électronique des molécules diatomiques 275
- 9-5 Orbitales hybrides  $sp$  279
- 9-6 Orbitales hybrides  $sp^2$  282
- 9-7 Orbitales hybrides  $sp^3$  283
- 9-8 Orbitales non liantes 286
- 9-9 Hybridation des orbitales  $d$  289
- 9-10 Doubles liaisons 291
- 9-11 Isomérisie *cis-trans* 293
- 9-12 Triples liaisons 295
- 9-13 Électrons  $\pi$  délocalisés du benzène 296

## 10. Réactivité chimique 307

- 10-1 Réactions de combinaison 308
- 10-2 Nomenclature des ions polyatomiques 309

- 10-3 Acides et bases 314
- 10-4 Réactions de décomposition 320
- 10-5 Hydrates 322
- 10-6 Réactions de simple déplacement 323
- 10-7 Réactivité relative des métaux 324
- 10-8 Réactivité relative des halogènes 327
- 10-9 Réactions de double déplacement 328
- 10-10 Réactions acide-base 332
- 10-11 Réactions d'oxydoréduction 335

## 11. Aspects quantitatifs de la chimie 349

- 11-1 Le concept de la mole 349
- 11-2 Nombre d'Avogadro 353
- 11-3 Formules brutes 356
- 11-4 Détermination des masses atomiques 360
- 11-5 Formules moléculaires 361
- 11-6 Analyses par combustion 363
- 11-7 Coefficients dans les équations chimiques 366
- 11-8 Stœchiométrie 372
- 11-9 Stœchiométrie sans disposer des équations chimiques 375
- 11-10 Réactifs limitants 377
- 11-11 Pourcentages de rendement 380

## 12. Aspects quantitatifs de la chimie en solution 393

- 12-1 Solutions 393
- 12-2 Molarité 395
- 12-3 Électrolytes 399
- 12-4 Réactions en solution 404
- 12-5 Réactions de précipitation 405
- 12-6 Titrages acide-base 408
- 12-7 Masse formulaire déterminée par titrage 410

## 13. Propriétés des gaz 421

- 13-1 État gazeux 421
- 13-2 Mesure de la pression d'un gaz 422
- 13-3 Unités de pression 424
- 13-4 Loi de Boyle-Mariotte et loi de Charles 426
- 13-5 Loi d'Avogadro 431
- 13-6 Équation des gaz parfaits 432
- 13-7 Détermination de masses molaires 439
- 13-8 Pressions partielles 443
- 13-9 Distribution de Maxwell-Boltzmann 448
- 13-10 Théorie cinétique des gaz et vitesse quadratique moyenne 450

- 13-11 Loi d'effusion de Graham 453
- 13-12 Libre parcours moyen 455
- 13-13 Équation de van der Waals 457

#### 14. Thermochimie 469

- 14-1 Énergie, travail et chaleur 470
- 14-2 Enthalpie 473
- 14-3 Enthalpie et énergie de réaction 477
- 14-4 Loi de Hess 479
- 14-5 Enthalpies molaires de formation 484
- 14-6 Enthalpies molaires de liaison 492
- 14-7 Capacités calorifiques 496
- 14-8 Calorimétrie 501
- 14-9 Bombes calorimétriques 503
- 14-10 Interprétation à l'échelle moléculaire des capacités calorifiques 505

#### 15. Liquides et solides 519

- 15-1 Molécules dans les solides et les liquides 519
- 15-2 Courbes de chauffage 521
- 15-3 Fusion et vaporisation 522
- 15-4 Forces intermoléculaires 527
- 15-5 Propriétés des liquides 533
- 15-6 Pression de vapeur 536
- 15-7 Humidité relative 540
- 15-8 Diagrammes de phases 541
- 15-9 Structure cristalline 545
- 15-10 Forces dans les cristaux 551
- 15-11 Électrons dans les métaux 554
- 15-12 Cristaux liquides 555
- 15-13 Colloïdes 557

#### 16. Propriétés colligatives des solutions 569

- 16-1 Molalité et fraction molaire 569
- 16-2 Loi de Raoult 573
- 16-3 Élévation du point d'ébullition 576
- 16-4 Abaissement du point de congélation du solvant 579
- 16-5 Pression osmotique 583
- 16-6 Solutions idéales 587
- 16-7 Loi de Henry 590

#### 17. Cinétique chimique : lois de vitesse 601

- 17-1 Vitesses de réaction 601
- 17-2 Variations de la vitesse avec le temps 607

- 17-3 Vitesses initiales 610
- 17-4 Réactions d'ordre 1 617
- 17-5 Demi-vies pour les réactions d'ordre 1 620
- 17-6 Désintégration d'un isotope radioactif 623
- 17-7 Datation au carbone-14 628
- 17-8 Réactions d'ordre 2 630
- 17-9 Demi-vies pour les réactions d'ordre 2 635

#### 18. Cinétique chimique : mécanismes 649

- 18-1 Mécanismes réactionnels 649
- 18-2 Énergie d'activation 652
- 18-3 Équation d'Arrhenius 657
- 18-4 Étape déterminante 659
- 18-5 Réactions réversibles 660
- 18-6 Catalyse 663
- 18-7 Cinétique enzymatique 668

#### 19. Équilibre chimique 685

- 19-1 Équilibre dynamique 686
- 19-2 Évolution d'un système vers l'état d'équilibre 687
- 19-3 Loi de Guldberg et Waage 689
- 19-4 Constantes d'équilibre exprimées en pressions partielles 695
- 19-5 Calculs fondés sur les constantes d'équilibre 697
- 19-6 Combinaison de constantes d'équilibre 703
- 19-7 Principe de Le Chatelier 705
- 19-8 Principe de Le Chatelier et ses applications quantitatives 712
- 19-9 Direction de spontanéité d'une réaction 715

#### 20. Propriétés des acides et des bases 729

- 20-1 Acides et bases 729
- 20-2 Constante de produit ionique de l'eau 731
- 20-3 Acides forts et bases fortes 732
- 20-4 Acides carboxyliques 735
- 20-5 pH et acidité 738
- 20-6 Acides faibles et bases faibles 742
- 20-7  $K_a$  et force de l'acide 743
- 20-8 Approximations successives 748
- 20-9  $K_b$  et force de la base 751
- 20-10 Couples acide-base 754
- 20-11 Solutions de sels 758
- 20-12 Acides polyprotioniques 764



<b>21. Tampons et titrage des acides et des bases</b>	<b>777</b>	<b>25. Électrochimie</b>	<b>931</b>
21-1 Équation de Henderson-Hasselbalch	777	25-1 Réactions chimiques et courant électrique	931
21-2 Solutions tampons	781	25-2 Cellules galvaniques	934
21-3 Indicateurs	786	25-3 Chaîne électrochimique	938
21-4 Titrage d'un acide fort par une base forte	791	25-4 Équation de Nernst	941
21-5 Titrage d'un acide faible par une base forte	794	25-5 Valeurs $E^\circ$ des demi-réactions	946
21-6 $\text{pH} = \text{p}K_a$ à la demi-équivalence	796	25-6 Mesure de la concentration des ions	952
21-7 Titrage d'une base faible par un acide fort	802	25-7 $\Delta_r G$ et travail	957
		25-8 Lois de Faraday de l'électrolyse	960
		25-9 Électrolyse industrielle	964
<b>22. Solubilité et réactions de précipitation</b>	<b>815</b>	<b>26. Chimie des métaux de transition</b>	<b>979</b>
22-1 Constantes de produit de solubilité	815	26-1 Nombre d'oxydation	980
22-2 Effet d'ion commun	821	26-2 Chrome et manganèse	984
22-3 Formation de complexes	823	26-3 Production du fer dans les hauts fourneaux	986
22-4 Acidité et solubilité des sels	828	26-4 Cobalt, nickel, cuivre et zinc	989
22-5 Quotient de précipitation	830	26-5 Or, argent et mercure	992
22-6 Précipitation sélective	833	26-6 Séries de métaux de transition du bloc <i>d</i>	995
22-7 Hydroxydes métalliques amphotères	835	26-7 Complexes de métaux de transition	997
22-8 Analyse qualitative	838	26-8 Nomenclature des complexes de métaux de transition	1000
<b>23. Thermodynamique chimique</b>	<b>853</b>	26-9 Ligands polydentés	1003
23-1 Réactions spontanées	853	26-10 Isomères	1005
23-2 Deuxième principe de la thermodynamique	856	26-11 Éclatement des orbitales <i>d</i>	1008
23-3 Entropie et désordre	860	26-12 Configurations électroniques	1013
23-4 Entropie et structure moléculaire	865	26-13 Série spectrochimique	1015
23-5 Entropie de réaction	868		
23-6 $\Delta_r G^\circ$ et spontanéité de la réaction	869	<b>Annexes</b>	
23-7 $\Delta_r G^\circ$ et quotient de réaction	873	Annexe A : Rappels de mathématiques	A-1
23-8 Relation entre $\Delta_r G$ et $\Delta_r G^\circ$	875	Annexe B : Unités SI et facteurs de conversion des unités	A-15
23-9 Énergies de Gibbs de formation	880	Annexe C : Résumé des règles de nomenclature de l'Union internationale de chimie pure et appliquée	A-19
23-10 Équation de van't Hoff	883	Annexe D : Données thermodynamiques	A-23
<b>24. Réactions d'oxydoréduction</b>	<b>899</b>	Annexe E : Données pour une sélection d'acides et de bases	A-29
24-1 Nombres d'oxydation	899	Annexe F : Solubilité de composés ioniques	A-32
24-2 Réactions d'oxydoréduction	906	Annexe G : Potentiels standards de réduction pour des solutions aqueuses à 25,0 °C	A-34
24-3 Demi-réactions	908	Annexe H : Production mondiale de produits chimiques	A-38
24-4 Équations chimiques des réactions redox en solution acide	909	Annexe I : Réponses à une sélection de problèmes de numéro pair	A-40
24-5 Équations chimiques des réactions d'oxydoréduction en solution basique	914	Crédits photographiques	C-1
24-6 Réactions d'oxydoréduction et chimie analytique	917	Index	I-1
24-7 Corrosion	920		