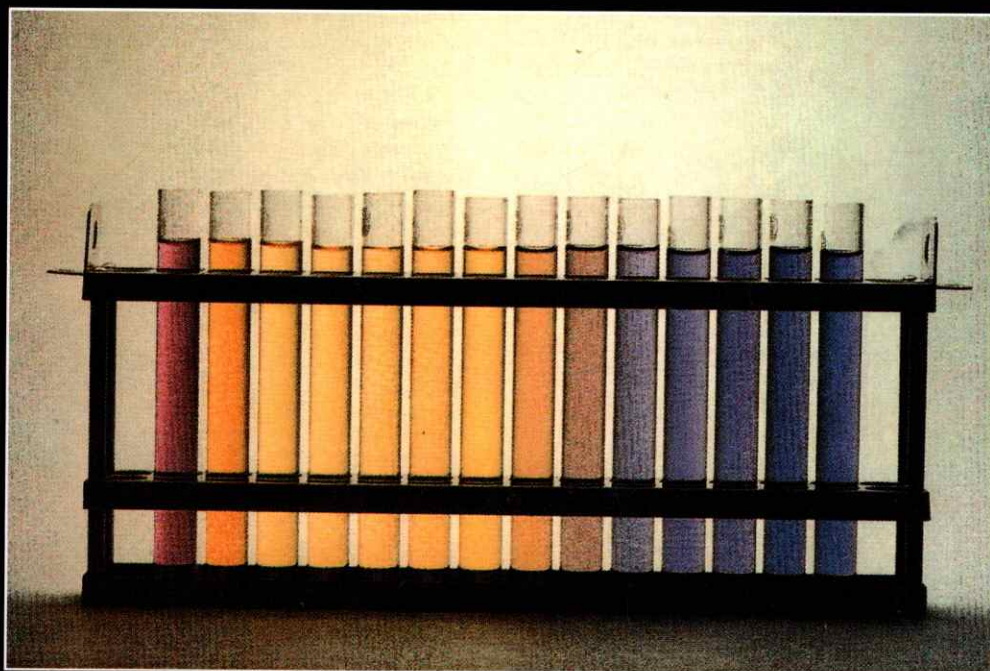


# CHIMIE GÉNÉRALE

• McQUARRIE • ROCK •

Édition revue

Traduction de la 3<sup>e</sup> édition américaine par Paul Depovere  
Révision scientifique de Céline G. Jung



de boeck

# Table des matières

Note liminaire du traducteur

## PREFACE

### CHAPITRE 1

#### CHIMIE ET MÉTHODE SCIENTIFIQUE 1

- 1.1 L'étude de la chimie 2
- 1.2 La méthode scientifique 3
- 1.3 Mesures quantitatives 6
- 1.4 Le système métrique 7
- 1.5 Précision et chiffres significatifs 14
- 1.6 Chiffres significatifs et calculs 16
- 1.7 Analyse dimensionnelle 17
- 1.8 Notation de Guggenheim 21

INTERCHAPITRE A L'industrie chimique 28

### CHAPITRE 2

#### ATOMES ET MOLÉCULES 30

- 2.1 Éléments, composés et mélanges 31
- 2.2 Les métaux et leurs symboles chimiques 32
- 2.3 Loi des proportions définies 34
- 2.4 La théorie atomique de Dalton 36
- 2.5 Molécules 38
- 2.6 Nomenclature chimique 39
- 2.7 Masse atomique et masse moléculaire 42
- 2.8 Le noyau 44
- 2.9 Numéro atomique 47
- 2.10 Isotopes 48
- 2.11 Le spectromètre de masse 52
- 2.12 Mélanges hétérogènes 24
- 2.13 Chromatographie 57

INTERCHAPITRE B L'étymologie des noms des éléments chimiques 66

### CHAPITRE 3

#### LE TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS ET LA PÉRIODICITÉ EN CHIMIE 70

- 3.1 Réactions chimiques 71
- 3.2 Équations chimiques 72
- 3.3 Propriétés des groupes 75
- 3.4 Périodicité 77
- 3.5 Groupes d'éléments 80
- 3.6 Classification des éléments 84



- 3.7 Irrégularités dans la périodicité 87
- 3.8 Ions isoélectroniques 88
- 3.9 Charge des ions et écriture des formules chimiques 90

### CHAPITRE 4

#### LA RÉACTIVITÉ CHIMIQUE 99

- 4.1 Réactions rédox 100
- 4.2 Nombres d'oxydation et équilibrage des réactions rédox 105
- 4.3 Réactions de combinaison 108
- 4.4 Oxydes aboutissant à des bases ou à des acides 112
- 4.5 Réactions de décomposition 116
- 4.6 Réactions de substitution 118
- 4.7 Réactivité relative des métaux 119
- 4.8 Réactivité relative des halogènes 121
- 4.9 Réactions de double déplacement 123
- 4.10 Nomenclature des oxacides 128

### CHAPITRE 5

#### ASPECTS QUANTITATIFS EN CHIMIE 138

- 5.1 La notion de mole 139
- 5.2 Le nombre d'Avogadro 142
- 5.3 La formule empirique d'un composé 145

- 5.4 Détermination de la masse atomique 147
- 5.5 Formules des molécules 148
- 5.6 Coefficients stœchiométriques dans les équations chimiques 149
- 5.7 Stœchiométrie 153
- 5.8 Stœchiométrie sans se baser sur les équations chimiques 156
- 5.9 Réactif limitant 159
- 5.10 Rendement d'une réaction exprimé en pourcentage 161

## CHAPITRE 6

### ASPECTS QUANTITATIFS DE LA CHIMIE EN SOLUTION 170

- 6.1 Solutions 171
- 6.2 Molarité 172
- 6.3 Réactions en solution 176
- 6.4 Réactions de précipitation 178
- 6.5 Règles de solubilité 181
- 6.6 Titrages acido-basiques 182
- 6.7 Réaction d'oxydoréduction 185

## CHAPITRE 7

### PROPRIÉTÉS DES GAZ 195

- 7.1 Les gaz 196
- 7.2 Mesure de la pression 197
- 7.3 Atmosphère standard 199
- 7.4 Lois de Boyle et de Charles 200
- 7.5 Règles d'Avogadro 205
- 7.6 Équations des gaz parfaits 206
- 7.7 Détermination des masses molaires 211
- 7.8 Pressions partielles 213
- 7.9 Distribution de Maxwell-Boltzmann 218
- 7.10 Postulats de la théorie cinétique des gaz 220
- 7.11 Vitesse quadratique moyenne 222
- 7.12 Loi de la vitesse d'effusion de Graham 224
- 7.13 Libre parcours moyen 226
- 7.14 Équations de van der Waals 228

## INTERCHAPITRE C L'atmosphère 238

## CHAPITRE 8

### THERMOCHIMIE 242

- 8.1 Première loi de la thermodynamique 243
- 8.2 Travail et chaleur 247
- 8.3 Chaleur dégagée ou absorbée au cours des réactions chimiques 252
- 8.4 Variations d'enthalpie 255
- 8.5 Chaleurs de formation 260
- 8.6 Capacité calorifique 266
- 8.7 Interprétation moléculaire des capacités calorifiques 270
- 8.8 Calorimétrie 272
- 8.9 La nourriture est un combustible 275
- 8.10 La consommation d'énergie aux États-Unis 275

- 8.11 La combustion des carburants fossiles 278
- 8.12 La propulsion des fusées 279
- 8.13 La lumière solaire en tant que source d'énergie 288

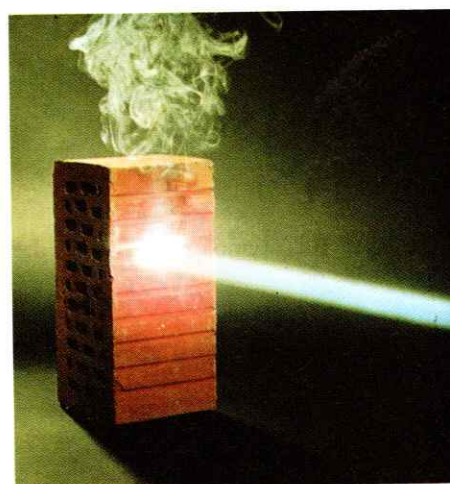
## INTERCHAPITRE D L'inflammabilité des gaz 288

## CHAPITRE 9

### LA THÉORIE QUANTIQUE ET LA STRUCTURE DES ATOMES 290

- 9.1 Les énergies de première ionisation 291
- 9.2 Énergies d'ionisation et périodicité 292
- 9.3 Spectre électromagnétique 296
- 9.4 Spectres de raies des atomes 298
- 9.5 Photons 302
- 9.6 L'effet photoélectrique 304
- 9.7 La longueur d'onde de de Broglie 306
- 9.8 Le microscope électronique 307
- 9.9 Quantification 310
- 9.10 Transitions électroniques 311
- 9.11 Principe d'incertitude de Heisenberg 316
- 9.12 Théorie quantique 318
- 9.13 Le nombre quantique azimutal 320
- 9.14 Le nombre quantique magnétique 323
- 9.15 Le spin de l'électron 325
- 9.16 États d'énergie des atomes 327
- 9.17 Principe d'exclusion de Pauli 328
- 9.18 Configurations électroniques des éléments 330
- 9.19 La règle de Hund 332
- 9.20 Configurations électroniques et périodicité 334
- 9.21 Orbitales *d* et orbitales *f* 337
- 9.22 Rayons atomiques et périodicité 340

## INTERCHAPITRE E Les lasers 350



## CHAPITRE 10

### COMPOSÉS OÙ INTERVIENNENT DES LIAISONS IONIQUES 354

- 10.1 Électrolytes 355
- 10.2 Liaisons ioniques 358
- 10.3 Ions des métaux de transition 360
- 10.4 Gabarits des ions 362
- 10.5 Énergies des liaisons ioniques 364
- 10.6 Le cycle de Haber-Born 369

## CHAPITRE 11

### FORMULES DE LEWIS 375

- 11.1 Liaisons covalentes 376
- 11.2 Règle de l'octet et formules de Lewis 378
- 11.3 L'hydrogène et les formules de Lewis 380
- 11.4 Charges formelles 383
- 11.5 Liaisons multiples 386
- 11.6 Hybrides de résonance 389
- 11.7 Radicaux libres 392
- 11.8 Expansion des couches de valence 394
- 11.9 Composés des métaux de transition 398
- 11.10 Électronégativité 399
- 11.11 Liaisons polaires 401
- 11.12 Moments dipolaires 403

## CHAPITRE 12

### DÉDUCTION DE LA GÉOMÉTRIE DES MOLÉCULES 409

- 12.1 Configuration des molécules 410
- 12.2 Le tétraèdre 411
- 12.3 La théorie RPECV 413
- 12.4 Prédiction de la géométrie des molécules 414
- 12.5 Paires électroniques libres et configurations 416
- 12.6 Application de la théorie RPECV au cas des liaisons multiples 420
- 12.7 Composés  $AX_4E$ ,  $AX_3E_2$ ,  $AX_2E_3$  422
- 12.8 Composés  $AX_6$ ,  $AX_5E$ ,  $AX_4E_2$  424
- 12.9 Structure et moment dipolaire 428

INTERCHAPITRE F Résonance magnétique du proton 434

## CHAPITRE 13

### LA LIAISON COVALENTE 438

- 13.1 Les orbitales moléculaires 439
- 13.2 Les orbitales moléculaires de  $H_2^+$  440
- 13.3 Configurations électroniques des molécules 444
- 13.4 Orbitales de liaisons localisées 446
- 13.5 Orbitales  $sp$  447
- 13.6 Orbitales  $sp^2$  451
- 13.7 Orbitales  $sp^3$  452
- 13.8 Les liaisons dans les molécules qui comportent des paires électroniques libres 455

13.9 Orbitales hybrides provenant d'orbitales  $d$  458

13.10 Liaisons doubles 459

13.11 Isomères *cis-trans* 462

13.12 Liaisons triples 463

13.13 Électrons  $\pi$  délocalisés 465

13.14 Orbitales  $\pi$  non liantes 467

## CHAPITRE 14

### LIQUIDES ET SOLIDES 473

- 14.1 Comportement des molécules dans les liquides et les solides 474
- 14.2 Courbes de chauffage 476
- 14.3 Fusion et vaporisation 477
- 14.4 Forces intermoléculaires 481
- 14.5 Propriétés des liquides 486
- 14.6 La tension de vapeur 490
- 14.7 L'humidité relative 493
- 14.8 Les diagrammes de phases 494
- 14.9 Structures des cristaux 498
- 14.10 Forces dans les cristaux 503
- 14.11 Les électrons dans les métaux 506
- 14.12 Les solides amorphes 507



INTERCHAPITRE G Les supraconducteurs à haute température 514

## CHAPITRE 15

### PROPRIÉTÉS COLLIGATIVES DES SOLUTIONS 518

- 15.1 Molalité et fraction molaire 519
- 15.2 Loi de Raoult 523

- 15.3 Élévation du point d'ébullition 525
- 15.4 Abaissement du point de congélation 527
- 15.5 Pression osmotique 531
- 15.6 Solutions idéales 536
- 15.7 Loi de Henry 539

## CHAPITRE 16

### VITESSES ET MÉCANISMES DES RÉACTIONS CHIMIQUES 547

- 16.1 Vitesses des réactions 548
- 16.2 Vitesses initiales 553
- 16.3 Réactions d'ordre un 558
- 16.4 Demi-vie des réactions d'ordre un 561
- 16.5 Réactions d'ordre deux 564
- 16.6 Demi-vie des réactions d'ordre deux 568
- 16.7 Mécanismes réactionnels 570
- 16.8 Étape déterminante de vitesse 572
- 16.9 Énergie d'activation 573
- 16.10 Équation d'Arrhenius 577
- 16.11 Catalyse 579

## CHAPITRE 17

### L'ÉQUILIBRE CHIMIQUE 594

- 17.1 Le concept d'équilibre dynamique 595
- 17.2 Atteinte de l'équilibre 597
- 17.3 Les diverses expressions de la constante d'équilibre 600
- 17.4 Constantes d'équilibre en fonction des pressions partielles 603
- 17.5 Calculs ayant trait à des équilibres 605
- 17.6 Propriétés des constantes d'équilibre 609
- 17.7 Principe de Le Chatelier 611
- 17.8 Applications quantitatives du principe de Le Chatelier 614
- 17.9 Influence de la température 617
- 17.10 Approche de l'état d'équilibre 620

Interchapitre H La déplétion de la couche d'ozone 630

## CHAPITRE 18

### ACIDES ET BASES I 634

- 18.1 Définitions des acides et des bases 635
- 18.2 Produit ionique de l'eau 636
- 18.3 Acides forts et bases fortes 637
- 18.4 Acides carboxyliques 638
- 18.5 pH et acidité 640
- 18.6 Acides faibles et bases faibles 644
- 18.7  $K_a$  et force d'un acide 646
- 18.8 Approximations successives 651
- 18.9  $K_b$  et force d'une base 654
- 18.10 Paires acide-base conjuguées 656
- 18.11 Solutions aqueuses de sels 660
- 18.12 Acides et bases de Lewis 665

## CHAPITRE 19

### ACIDES ET BASES II 674

- 19.1 L'équation de Henderson-Hasselbalch 675
- 19.2 Mélanges tampons 678
- 19.3 Indicateurs de pH 681
- 19.4 Titration d'un acide fort par une base forte 686
- 19.5 Titration d'un acide faible par une base forte 689
- 19.6 À la demi-équivalence,  $\text{pH} = \text{p}K_a$  691
- 19.7 Titration d'une base faible par un acide fort 646
- 19.8 Acides polyprotiques 699



INTERCHAPITRE I Les eaux naturelles 710

## CHAPITRE 20

### SOLUBILITÉ ET RÉACTIONS DE PRÉCIPITATION 714

- 20.1 Produits de solubilité 715
- 20.2 Effet d'ion commun 720
- 20.3 Réactions de complexation 722
- 20.4 Influence du pH vis-à-vis de la solubilité des sels 726
- 20.5 Critère  $Q_{ps}/K_{ps}$  727
- 20.6 Précipitation sélective 730
- 20.7 Séparation des sulfures 731
- 20.8 Séparation des hydroxydes 734
- 20.9 Hydroxydes amphotères 736
- 20.10 Analyse qualitative 739

INTERCHAPITRE J Savons et détergents 748

## CHAPITRE 21

### RÉACTIONS D'OXYDORÉDUCTION 752

- 21.1 Étages d'oxydation 753
- 21.2 Réactions rédox 755
- 21.3 Demi-réactions 757
- 21.4 Équilibrage des équations qui décrivent les réactions rédox en milieu acide 758
- 21.5 Équilibrage des équations qui décrivent les réactions rédox en milieu basique 762
- 21.6 Intervention des réactions rédox en chimie analytique 764
- 21.7 Phénomènes de corrosion 766

## CHAPITRE 22

### ENTROPIE, ÉNERGIE LIBRE DE GIBBS ET RÉACTIVITÉ CHIMIQUE 774

- 22.1 Spontanéité des réactions 775
- 22.2 Deuxième loi de la thermodynamique 777
- 22.3 Entropie et désordre 779
- 22.4 Entropie et changements de phases 781
- 22.5 Entropie et structure moléculaire 783
- 22.6 Variations d'entropie des réactions 785
- 22.7 Entropie et équilibre 786
- 22.8  $\Delta G_{\text{réaction}}$  et spontanéité des réactions 787
- 22.9 Relation entre  $\Delta G_{\text{réaction}}$  et  $\Delta G^{\circ}_{\text{réaction}}$  790
- 22.10 Énergies libres de formation 793
- 22.11 Équation de van't Hoff 795
- 22.12 L'équation de Clapeyron-Clausius 798
- 22.13  $\Delta H^{\circ}_{\text{réaction}}$  et énergies des liaisons 800

## CHAPITRE 23

### ÉLECTROCHIMIE 812

- 23.1 Réactions chimiques induites par un courant électrique 813
- 23.2 Piles électrochimiques 815
- 23.3 Schémas des éléments des piles 819
- 23.4 Équation de Nernst 821
- 23.5 Valeurs des  $E^{\circ}$  des demi-réactions 827
- 23.6 Détermination des concentrations 831
- 23.7  $\Delta G_{\text{réaction}}$  et travail 833
- 23.8 Lois de Faraday 834
- 23.9 L'électrolyse à l'échelle industrielle 837

INTERCHAPITRE K Piles et batteries d'accumulateurs 846

## CHAPITRE 24

### CHIMIE NUCLÉAIRE ET RADIOCHIMIE 850

- 24.1 Transmutation nucléaire 851
- 24.2 Types d'émission à partir des noyaux radioactifs 853
- 24.3 Méthodes de détection de la radioactivité 855

- 24.4 Bande de stabilité 856
- 24.5 Vitesse de désintégration 859
- 24.6 Méthodes de radiodation 861
- 24.7 Radiodation par le carbone 14 862
- 24.8 Synthèse des radio-isotopes 864
- 24.9 Analyse radiochimique 866
- 24.10 Réactions nucléaires et énergie 867
- 24.11 Fission nucléaire 870
- 24.12 Réactions nucléaires en chaîne 871
- 24.13 Réacteurs nucléaires 873
- 24.14 Surgénérateurs nucléaires 874
- 24.15 Réactions de fusion 875
- 24.16 Effets biologiques néfastes des radiations 876
- 24.17 Le radon 879

## CHAPITRE 25

### LA CHIMIE DES ÉLÉMENTS DES GROUPES PRINCIPAUX I 886

- 25.1 Les propriétés chimiques montrent des profils évolutifs au sein du tableau périodique 887
  - 25.1 A Caractère métallique 887
  - 25.1 B Profils évolutifs et périodicité 889
- 25.2 L'hydrogène 890
  - 25.2 A Isotopes de l'hydrogène 891
  - 25.2 B Abondance 892
  - 25.2 C Obtention et usages 893
- 25.3 Les métaux alcalins 894
  - 25.3 A Propriétés communes 895
  - 25.3 B Propriétés chimiques 896
- 25.4 Les métaux alcalino-terreux 899
  - 25.4 A Les propriétés du béryllium 900
  - 25.4 B Propriétés communes 901
  - 25.4 C Applications industrielles 902
- 25.5 Les éléments du groupe 3 903
  - 25.5 A Le bore 905
  - 25.5 B Les hydrures de bore 906
  - 25.5 C L'aluminium 907
  - 25.5 D Propriétés chimiques 908
- 25.6 Les éléments du groupe 4 911
  - 25.6 A Le diamant et le graphite 912
  - 25.6 B Composés carbonés 914
  - 25.6 C Le silicium en tant que semi-conducteur 916
  - 25.6 D Minéraux contenant du silicium 917
  - 25.6 E Les verres 919
  - 25.6 F Le germanium, l'étain et le plomb 920

## CHAPITRE 26

### LA CHIMIE DES ÉLÉMENTS DES GROUPES PRINCIPAUX II 926

- 26.1 Les éléments du groupe 5 927
  - 26.1 A La réactivité de l'azote 929
  - 26.1 B L'ammoniac 930
  - 26.1 C L'acide nitrique 931
  - 26.1 D Les oxydes de l'azote 932

- 26.1 E Les variétés allotropiques du phosphore 934
- 26.1 F Les oxacides du phosphore 936
- 26.1 G Composés binaires du phosphore 937
- 26.1 H Importance biologique des composés du phosphore 938
- 26.1 I Arsenic, antimoine et bismuth 939
- 26.2 Les éléments du groupe 6 942
- 26.2 A Production de l'oxygène 943
- 26.2 B L'oxygène dans l'atmosphère 944
- 26.2 C Réactivité de l'oxygène 945
- 26.2 D Les peroxydes 945
- 26.2 E L'ozone 945
- 26.2 F La molécule cyclique S<sub>8</sub> 946
- 26.2 G L'acide sulfurique 949
- 26.2 H Composés soufrés 951
- 26.2 I Sélénium et tellure 954
- 26.3 Les halogènes 955
- 26.3 A Réactivité du fluor 957
- 26.3 B La production du chlore 959
- 26.3 C La production du brome et de l'iode 960
- 26.3 D Les halogénures d'hydrogène 962
- 26.3 E Les oxacides des halogènes 963
- 26.4 Les gaz nobles 964
- 26.4 A La découverte des gaz nobles 964
- 26.4 B Les composés du xénon 966

INTERCHAPITRE L Photographie et chimie 970

## CHAPITRE 27

### LA CHIMIE DES MÉTAUX DE TRANSITION 974

- 27.1 Étages d'oxydation 976
- 27.2 Le chrome et le manganèse 980
- 27.3 Le haut fourneau 982
- 27.4 Le cobalt, le nickel, le cuivre et le zinc 985
- 27.5 L'or, l'argent et le mercure 989

## CHAPITRE 28

### COMPLEXES DES MÉTAUX TRANSITIONNELS 993

- 28.1 Série des métaux transitionnels *d* 994
- 28.2 Complexes des métaux transitionnels 996
- 28.3 Nomenclature 999
- 28.4 Ligands polydentiques 1002
- 28.5 Isomères 1004
- 28.6 Dédoubléments des orbitales *d* 1006
- 28.7 Configurations électroniques 1009
- 28.8 Série spectrochimique 1012
- 28.9 Complexes quadrangulaires plans et tétraédriques 1013
- 28.10 Réactivité des complexes 1015

INTERCHAPITRE M Les gemmes synthétiques 1020

## CHAPITRE 29

### LES RÉACTIONS DES COMPOSÉS ORGANIQUES 1024

- 29.1 Les alcanes 1025
- 29.2 Réactivité des alcanes 1028
- 29.3 Nomenclature des alcanes 1031
- 29.4 Les alcènes 1034
- 29.5 Réactivité des alcènes 1036
- 29.6 Les alcynes 1038
- 29.7 Hydrocarbures aromatiques 1040
- 29.8 Les alcools 1043
- 29.9 Les aldéhydes et les cétones 1046
- 29.10 Les amines 1048
- 29.11 Les acides carboxyliques 1049
- 29.12 L'analyse par combustion 1052

## CHAPITRE 30

### POLYMÈRES SYNTHÉTIQUES ET NATURELS 1062

- 30.1 Les polymères 1063
- 30.2 Le Nylon et le Dacron 1065
- 30.3 Élasticité 1069
- 30.4 Les acides aminés 1070
- 30.5 La formation des protéines 1073
- 30.6 La configuration des protéines 1076
- 30.7 L'ADN 1077
- 30.8 La réplication de l'ADN 1080

## APPENDICES

- A Rappels de mathématiques A2
- B Les unités du système SI et les facteurs de conversion y afférents A12
- C Instructions pour construire un tétraèdre et un octaèdre A15
- D Symboles et noms des éléments dont les numéros atomiques sont supérieurs à 100 A16
- E Tableau des masses atomiques A17
- F Entropies molaires standard, chaleurs de formation, énergies libres de Gibbs de formation et capacités calorifiques de diverses substances à 25 °C et sous 1 atm A19
- G Constantes de dissociation acide de divers acides faibles et constantes de protonation de diverses bases faibles dans l'eau à 25 °C A22
- H Produits de solubilités de divers sels dans l'eau à 25 °C A24
- I Potentiels standard de réduction de diverses solutions aqueuses à 25 °C A25
- J Les 50 produits chimiques les plus importants (en 1989) A28
- K Réponses aux problèmes de numéro impair A30

## ORIGINE DES PHOTOGRAPHIES P1

## INDEX II

# CHIMIE GÉNÉRALE

• McQUARRIE • ROCK •

Tout étudiant en sciences, quelle que soit l'orientation qu'il ait choisie (chimie, biologie, médecine, pharmacie...) a besoin d'une base solide en chimie générale. Tel est l'objectif de ce **grand classique** de la chimie qui est non seulement **complet** mais de surcroît parfaitement **actualisé**.

Sa conception, remarquablement **pédagogique**, concrète et pratique, permet l'étude et la maîtrise de la discipline par des étudiants qui ne disposent d'aucune connaissance préalable.

**Les illustrations en quatre couleurs** rendent la lecture très agréable et divers interchapitres, judicieusement positionnés, montrent, par des exemples d'actualité, l'imbrication permanente de la chimie générale dans la vie de tous les jours. Chaque chapitre est suivi d'une série de **problèmes**. Les **solutions** des problèmes-types sont données en annexe. Un **index** extrêmement complet permet au lecteur d'exploiter au mieux les informations exhaustives de ce magnifique traité.



9 782804 137038

QUARRIE

ISBN 978-2-8041-3703-8