

Chimie fondamentale

Raymond Chang • Luc Papillon

2^E ÉDITION

PRINCIPES ET PROBLÈMES

CHIMIE
GÉNÉRALE

VOLUME 1

Chenelière McGraw-Hill

Chimie fondamentale

Raymond Chang/ Luc Papillon

PRINCIPES ET PROBLEMES

CHIMIE GÉNÉRALE
VOLUME 1

Chenelière McGraw-Hill

À la première parution, l'objectif initial de *Chimie fondamentale* était de présenter les notions de chimie essentielles aux étudiants qui entreprennent des études scientifiques. Toutefois, cette tâche exige de fixer des choix. Quels concepts doit-on présenter ? Jusqu'où doit-on les approfondir ? Il est difficile de résoudre tous les problèmes qui sont ainsi soulevés. Nous croyons cependant que chaque volume de cette deuxième édition de *Chimie fondamentale* est un outil qui saura mieux répondre aux besoins des étudiants. Il s'agit d'un ouvrage de synthèse, mais la matière ne peut être étudiée dans une seule session d'études.

Encore une fois, en rédigeant cette deuxième édition, nous avons tenté d'inclure tous les sujets fondamentaux qu'une formation de base en chimie doit comporter, sans renoncer pour autant à la clarté et à la compréhension de l'exposé. Afin d'atteindre cet objectif dans un nombre limité de pages, en abordant chaque chapitre, nous avons cherché à répondre aux questions suivantes : Qu'est-ce que les étudiants doivent absolument connaître dans ce domaine particulier de la chimie ? Que pouvons-nous ajouter ou améliorer afin de parfaire cet ouvrage ?

Dans ce premier volume, les lecteurs trouveront des réponses à ces questions sous les formes suivantes :

- Au chapitre 1, une nouvelle section introduit la méthode scientifique.
- Le chapitre 2 propose différents modèles moléculaires, un exposé sur les hydrates et une présentation améliorée de la méthode des chiffres significatifs.
- Au chapitre 4, une figure résume les lois des gaz, et une nouvelle section porte sur la stœchiométrie des gaz.
- Au chapitre 5, nous élaborons davantage le principe d'incertitude, et nous ajoutons des paragraphes et des illustrations sur l'énergie des orbitales. De plus, un nouvel exemple permet de montrer l'attribution des nombres quantiques aux électrons d'un atome.
- Le chapitre 6 présente une nouvelle définition de l'affinité électronique.
- Au chapitre 7, nous avons intégré quelques notions fondamentales de thermochimie à l'étude des énergies de liaison et ajouté une présentation améliorée des structures de Lewis.
- Au chapitre 8, nous avons réorganisé en profondeur la section sur l'hybridation des orbitales (l'ordre de présentation et les textes sont nouveaux). Des sections sur les orbitales moléculaires (OM), la configuration électronique des orbitales moléculaires et les orbitales moléculaires délocalisées sont également proposées.
- Au chapitre 9, nous avons amélioré l'aspect quantitatif du contenu, notamment grâce au traitement de l'équation de Clausius-Clapeyron et à une meilleure description des changements physiques par l'étude détaillée d'une courbe de chauffage.

Pour faciliter l'apprentissage des étudiants, nous avons évidemment retenu les caractéristiques pédagogiques de la première édition tout en y apportant plusieurs innovations :

Les points essentiels — Chaque chapitre débute par une nouvelle section intitulée *Les points essentiels*. Il s'agit d'un bref exposé qui énonce les concepts importants du chapitre. La lecture de ce texte permettra aux étudiants de se faire une idée du contenu du chapitre et d'évaluer leur compréhension une fois la lecture terminée.

Introduction — Chaque chapitre commence par une courte introduction où, à l'aide d'un court texte, nous sensibilisons les lecteurs au contenu du chapitre. Ces introductions servent à montrer toute la richesse de l'histoire de cette discipline ou le rôle joué par la chimie dans tous les aspects de notre vie.

Lors de sa parution, L'objectif initial de Chimie fondamentale était de présenter les notions de chimie essentielles aux étudiants qui entreprennent des études scientifiques. Toutefois, cette tâche exige de fixer des choix. Quels concepts doit-on présenter ? Jusqu'où doit-on les approfondir ? Il est difficile de résoudre tous les problèmes qui sont ainsi soulevés. Nous croyons cependant que chaque volume de cette deuxième édition de Chimie fondamentale est un outil qui saura mieux répondre aux besoins des étudiants. Il s'agit d'un ouvrage de synthèse, mais la matière ne peut être étudiée dans une seule session d'études.

Encore une fois, en rédigeant cette deuxième édition, nous avons tenté d'inclure tous les sujets fondamentaux qu'une formation de base en chimie doit comporter, sans renoncer pour autant à la clarté et à la compréhension de l'exposé. Afin d'atteindre cet objectif dans un nombre limité de pages, en abordant chaque chapitre, nous avons cherché à répondre aux questions suivantes : Qu'est-ce que les étudiants doivent absolument connaître dans ce domaine particulier de la chimie ? Que pouvons-nous ajouter ou améliorer afin de parfaire cet ouvrage ? Dans ce premier volume, les lecteurs trouveront des réponses à ces questions sous les formes suivantes :

- Au chapitre 1, une nouvelle section introduit la méthode scientifique.
- Le chapitre 2 propose différents modèles moléculaires, un exposé sur les hydrates et une présentation améliorée de la méthode des chiffres significatifs.
- Au chapitre 4, une figure résume les lois des gaz, et une nouvelle section porte sur la stœchiométrie des gaz.
- Au chapitre 5, nous élaborons davantage le principe d'incertitude, et nous ajoutons des paragraphes et des illustrations sur l'énergie des orbitales. De plus, un nouvel exemple permet de montrer l'attribution des nombres quantiques aux électrons d'un atome.
- Le chapitre 6 présente une nouvelle définition de l'affinité électronique.
- Au chapitre 7, nous avons intégré quelques notions fondamentales de thermochimie à l'étude des énergies de liaison et ajouté une présentation améliorée des structures de Lewis.
- Au chapitre 8, nous avons réorganisé en profondeur la section sur l'hybridation des orbitales (l'ordre de présentation et les textes sont nouveaux). Des sections sur les orbitales moléculaires (OM), la configuration électronique des orbitales moléculaires et les orbitales moléculaires délocalisées sont également proposées.
- Au chapitre 9, nous avons amélioré l'aspect quantitatif du contenu, notamment grâce au traitement de l'équation de Clausius-Clapeyron et à une meilleure description des changements physiques par l'étude détaillée d'une courbe de chauffage.

Pour faciliter l'apprentissage des étudiants, nous avons évidemment retenu les caractéristiques pédagogiques de la première édition tout en y apportant plusieurs innovations :

Les points essentiels - Chaque chapitre débute par une nouvelle section intitulée Les points essentiels. Il s'agit d'un bref exposé qui énonce les concepts importants du chapitre. La lecture de ce texte permettra aux étudiants de se faire une idée du contenu du chapitre et d'évaluer leur compréhension une fois la lecture terminée.

Introduction - Chaque chapitre commence par une courte introduction où, à l'aide d'un court texte, nous sensibilisons les lecteurs au contenu du chapitre. Ces introductions servent à montrer toute la richesse de l'histoire de cette discipline ou le rôle joué par la chimie dans tous les aspects de notre vie.

La résolution de problèmes — *Chimie fondamentale* fait une grande place à la résolution de problèmes. Dans tous les chapitres, un grand nombre d'exemples résolus ponctuent le texte pour montrer aux étudiants comment appliquer les notions présentées. Chacun de ces exemples est suivi d'un exercice semblable permettant de démontrer immédiatement les connaissances acquises.

Nouveau — Dans cette nouvelle édition, chaque exemple de problème résolu dans le texte mentionne au moins un autre exemple de problème semblable qui fait partie de la liste des problèmes en fin de chapitre. Voilà une autre occasion immédiate de renforcer l'apprentissage !

Nouveau — En rédigeant cette nouvelle édition de *Chimie fondamentale*, nous avons amélioré ses nombreuses illustrations et en avons ajouté de nombreuses autres. Par exemple, la nouvelle figure 4.12 illustre et résume les lois des gaz.

Nouveau — Pour mieux visualiser les composés chimiques, à plusieurs endroits, les étudiants trouveront des **modèles moléculaires** décrivant les composés mentionnés dans le texte.

Nouveau — À plusieurs endroits, des *Notes* ont été ajoutées en marge du texte ou de certains exemples pour apporter des explications ou des conseils supplémentaires. Parfois, ces notes constituent plutôt un dialogue incitant les étudiants à s'interroger et à réfléchir davantage.

Nouveau — Dans chaque chapitre, les étudiants trouveront un ou deux encadrés intitulés *La chimie en action*, dont le but est de démontrer avec des exemples concrets le rôle que joue la chimie dans les autres sciences et dans la vie de tous les jours.

Nouveau — Dans cette édition, les résumés ont été réorganisés en une suite de courtes phrases numérotées permettant de faciliter la récapitulation.

Nouveau — Équations clés — À la suite du résumé, nous dressons la liste de toutes les équations fondamentales présentées dans un chapitre. Cette liste aidera les étudiants à résoudre les problèmes ou servira d'aide-mémoire en vue de la préparation d'examens.

Nouveaux problèmes — Chaque chapitre contient de nouveaux problèmes variés.

Nouveau — À la fin du manuel, nous présentons les réponses à tous les problèmes.

Nouveau — Problèmes spéciaux — Chaque chapitre se termine par quelques problèmes spéciaux qui demandent aux étudiants de faire la preuve de leur compréhension en utilisant plusieurs thèmes et concepts.

Nous espérons que cette nouvelle édition facilitera votre travail et vous fera apprécier davantage la chimie, cette science fondamentale si importante au XXI^e siècle.

Raymond Chang et Luc Papillon

La résolution de problèmes - Chimie fondamentale fait une grande place à la résolution de problèmes. Dans tous les chapitres, un grand nombre d'exemples résolus ponctuent le texte pour montrer aux étudiants comment appliquer les notions présentées. Chacun de ces exemples est suivi d'un exercice semblable permettant de démontrer immédiatement les connaissances acquises.

Nouveau - Dans cette nouvelle édition, chaque exemple de problème résolu dans le texte mentionne au moins un autre exemple de problème semblable qui fait partie de la liste des problèmes en fin de chapitre. Voilà une autre occasion immédiate de renforcer l'apprentissage!

Nouveau - En rédigeant cette nouvelle édition de Chimie fondamentale, nous avons amélioré ses nombreuses illustrations et en avons ajouté de nombreuses autres. Par exemple, la nouvelle figure 4.12 illustre et résume les lois des gaz.

Nouveau - Pour mieux visualiser les composés chimiques, à plusieurs endroits, les étudiants trouveront des modèles moléculaires décrivant les composés mentionnés dans le texte.

Nouveau - À plusieurs endroits, des notes ont été ajoutées en marge du texte ou de certains exemples pour apporter des explications ou des conseils supplémentaires. Parfois, ces notes constituent plutôt un dialogue incitant les étudiants à s'interroger et à réfléchir davantage.

Nouveau - Dans chaque chapitre, les étudiants trouveront un ou deux encadrés intitulés La chimie en action, dont le but est de démontrer avec des exemples concrets le rôle que joue la chimie dans les autres sciences et dans la vie de tous les jours.

Nouveau - Dans cette édition, les résumés ont été réorganisés en une suite de courtes phrases numérotées permettant de faciliter la récapitulation.

Nouveau - Équations clés - À la suite du résumé, nous dressons la liste de toutes les équations fondamentales présentées dans un chapitre. Cette liste aidera les étudiants à résoudre les problèmes ou servira d'aide-mémoire en vue de la préparation d'examens.

Nouveaux problèmes - Chaque chapitre contient de nouveaux problèmes variés.

Nouveau - A la fin du manuel, nous présentons les réponses à tous les problèmes.

Nouveau - Problèmes spéciaux - Chaque chapitre se termine par quelques problèmes spéciaux qui demandent aux étudiants de faire la preuve de leur compréhension en utilisant plusieurs thèmes et concepts.

Nous espérons que cette nouvelle édition facilitera votre travail et vous fera apprécier davantage la chimie, cette science fondamentale si importante au XXI^e siècle.

Raymond Chang et Luc Papillon

À PROPOS DE L'AUTEUR

Né à Hong Kong, Raymond Chang a passé son enfance et sa jeunesse à Shanghai et à Hong Kong. Il a obtenu un diplôme de premier cycle en chimie à l'Université de Londres, puis un doctorat en chimie à l'université Yale. Après des recherches postdoctorales à l'Université de Washington et une année d'enseignement au Hunter College, il a été engagé au Département de chimie du Williams College, où il enseigne depuis 1968. Le professeur Chang a écrit des livres sur la spectroscopie, la chimie physique et la chimie industrielle.

ET DE L'ADAPTATEUR

Après avoir fait des études de pédagogie et de chimie à l'Université de Montréal, Luc Papillon a enseigné pendant une dizaine d'années au secondaire, années durant lesquelles il a écrit, avec Pierre Lahaye et René Valiquette, *Éléments de chimie expérimentale*, un ouvrage qui a marqué toute une génération d'élèves québécois. À partir de 1976, il a enseigné au département de chimie du Cégep de Sherbrooke jusqu'à sa retraite.

À PROPOS DE L'AUTEUR

Né à Hong Kong, Raymond Chang a passé son enfance et sa jeunesse à Shanghai et à Hong Kong. Il a obtenu un diplôme de premier cycle en chimie à l'Université de Londres, puis un doctorat en chimie à l'université Yale. Après des recherches postdoctorales à l'Université de Washington et une année d'enseignement au Hunter College, il a été engagé au Département de chimie du Williams College, où il enseigne depuis 1968. Le professeur Chang a écrit des livres sur la spectroscopie, la chimie physique et la chimie industrielle.

ET DE L'ADAPTATEUR

Après avoir fait des études de pédagogie et de chimie à l'Université de Montréal, Luc Papillon a enseigné pendant une dizaine d'années au secondaire, années durant lesquelles il a écrit, avec Pierre Lahaye et René Valiquette, *Éléments de chimie expérimentale*, un ouvrage qui a marqué toute une génération d'élèves québécois. À partir de 1976, il a enseigné au département de chimie du Cégep de Sherbrooke jusqu'à sa retraite.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION



- 1.1 L'étude de la chimie 4
La façon d'étudier la chimie 4
- 1.2 La méthode scientifique 5
- 1.3 La classification de la matière 6
Les substances pures et les mélanges 6
Les éléments et les composés 8
- 1.4 Les propriétés physiques et chimiques de la matière 9
- 1.5 Les mesures 10
Les unités SI 11
La masse et le poids 11
Le volume 12
La masse volumique 12
La température 13
La chimie en action L'IMPORTANCE DES UNITÉS 14
- 1.6 La manipulation des nombres 15
La notation scientifique 15
L'addition et la soustraction 15
La multiplication et la division 16
Les chiffres significatifs 16
Les règles d'utilisation des chiffres significatifs dans les mesures 17
Les règles d'utilisation de chiffres significatifs dans les calculs 17
L'exactitude et la précision 19
- 1.7 La résolution de problèmes avec la méthode des facteurs de conversion 20
Résumé 22
Équations clés 23
Mots clés 23
Questions et problèmes 23

CHAPITRE 2

LES ATOMES, LES MOLÉCULES ET LES IONS



- 2.1 La théorie atomique 32
- 2.2 La structure de l'atome 33
L'électron 33
La radioactivité 34
Le proton et le noyau 35
Le neutron 37
- 2.3 Le numéro atomique, le nombre de masse et les isotopes 37
- 2.4 Le tableau périodique 39
- 2.5 Les molécules et les ions 40
Les molécules 40
Les ions 40
- 2.6 Les formules chimiques 41
Les formules moléculaires 42
Les modèles moléculaires 42
La chimie en action L'ALLOTROPIE 44
Les formules empiriques (ou brutes) 45
Les formules empiriques en général 45
Les formules empiriques des composés ioniques 46
- 2.7 La nomenclature des composés inorganiques 47
Les composés ioniques 47
Les composés covalents 49
Les acides et les bases 51
La nomenclature des acides 51
La nomenclature des bases 53
Les hydrates 53

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

L'étude de la chimie 4

La façon d'étudier la chimie 4

La méthode scientifique 5

La classification de la matière 6

Les substances pures et les mélanges 6

Les éléments et les composés 8

Les propriétés physiques et chimiques de la matière 9

Les mesures 10

Les unités SI 11

La masse et le poids 11

Le volume 12

La masse volumique 12

La température 13

La chimie en action L'IMPORTANCE DES UNITÉS 14

La manipulation des nombres 15

La notation scientifique 15

L'addition et la soustraction 15

La multiplication et la division 16

Les chiffres significatifs 16

Les règles d'utilisation des chiffres significatifs dans les mesures 17

Les règles d'utilisation de chiffres significatifs dans les calculs 17

L'exactitude et la précision 19

La résolution de problèmes avec la méthode des facteurs de conversion 20

Résumé 22

Équations clés 23

Mots clés 23

Questions et problèmes 23

CHAPITRE 2

LES ATOMES, LES MOLÉCULES ET LES IONS

La théorie atomique 32

La structure de l'atome 33

L'électron 33

La radioactivité 34

Le proton et le noyau 35

Le neutron 37

Le numéro atomique, le nombre de masse et les isotopes 37

Le tableau périodique 39

Les molécules et les ions 40

Les molécules 40

Les ions 40

Les formules chimiques 41
Les formules moléculaires 42
Les modèles moléculaires 42
La chimie en action L'ALLOTROPIE 44
Les formules empiriques (ou brutes) 45
Les formules empiriques en général 45
Les formules empiriques des composés ioniques 46
La nomenclature des composés inorganiques 47
Les composés ioniques 47
Les composés covalents 49
Les acides et les bases 51
La nomenclature des acides 51
La nomenclature des bases 53
Les hydrates 53

Résumé	54
Mots clés	55
Questions et problèmes	55

CHAPITRE 3

LA STOECHIMÉTRIE



3.1	La masse atomique	62
	La masse atomique moyenne	62
3.2	La masse molaire d'un élément et le nombre d'Avogadro	63
3.3	La masse moléculaire	66
3.4	Le spectromètre de masse	68
3.5	La composition centésimale	70
3.6	La détermination expérimentale des formules empiriques	72
	La détermination des formules moléculaires	73
3.7	Les réactions et les équations chimiques	74
	L'écriture des équations chimiques	74
	L'équilibrage des équations chimiques	76
3.8	Les calculs des quantités de réactifs et de produits	79
3.9	Les réactifs limitants et le rendement des réactions	82
	Le rendement des réactions	84
	La chimie en action LES ENGRAIS CHIMIQUES	86
	Résumé	87
	Équations clés	87
	Mots clés	87
	Questions et problèmes	88

CHAPITRE 4

LES GAZ



4.1	Les substances existant à l'état gazeux	96
4.2	La pression des gaz	97
	Les unités de pression SI	97
	La pression atmosphérique	98
4.3	Les lois des gaz	100
	La relation pression-volume: la loi de Boyle-Mariotte	100
	La relation température-volume: la loi de Gay-Lussac-Charles	101
	La relation volume-nombre de molécules: la loi d'Avogadro	103
4.4	L'équation des gaz parfaits	104
	La masse volumique et la masse molaire d'une substance gazeuse	108
4.5	La stoechiométrie des gaz	109
4.6	La loi des pressions partielles de Dalton	112
	La chimie en action LA PLONGÉE SOUS-MARINE ET LES LOIS DES GAZ	116
4.7	La théorie cinétique des gaz	117
	La distribution des vitesses des molécules	119
	La diffusion gazeuse	121
4.8	Les gaz parfaits et les gaz réels	121
	Résumé	124
	Équations clés	125
	Mots clés	126
	Questions et problèmes	126

Résumé 54 Mots clés 55
Questions et problèmes 55

CHAPITRE 3 LA STœCHIONIÉTRIE

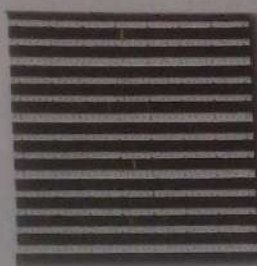
La masse atomique 62
La masse atomique moyenne 62
La masse molaire d'un élément et le nombre d'Avogadro 63
La masse moléculaire 66
Le spectromètre de masse 68
La composition centésimale 70
La détermination expérimentale des formules empiriques 72
La détermination des formules moléculaires 73
Les réactions et les équations chimiques 74
L'écriture des équations chimiques 74
L'équilibrage des équations chimiques 76
Les calculs des quantités de réactifs et de produits 79
Les réactifs limitants et le rendement des réactions 82
Le rendement des réactions 84
La chimie en action LES ENGRAIS CHIMIQUES 86
Résumé 87 Équations clés 87
Mots clés 87 Questions et problèmes 88

CHAPITRE 4 LES GAZ

Les substances existant à l'état gazeux 96
La pression des gaz 97
Les unités de pression SI 97
La pression atmosphérique 98
Les lois des gaz 100
La relation pression-volume: la loi de Boyle-Mariotte 100
La relation température-volume: la loi de Gay-Lussac-Charles 101
La relation volume-nombre de molécules: la loi d'Avogadro 103
L'équation des gaz parfaits 104
La masse volumique et la masse molaire d'une substance gazeuse 108
La stœchiométrie des gaz 109
La loi des pressions partielles de Dalton 112
La chimie en action LA PLONGÉE SOUS-MARINE ET LES LOIS DES GAZ 116
La théorie cinétique des gaz 117
La distribution des vitesses des molécules 119
La diffusion gazeuse 121
Les gaz parfaits et les gaz réels 121
Résumé 124 Équations clés 125
Mots clés 126 Questions et problèmes 126

CHAPITRE 5

LA STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DES ATOMES



- 5.1 De la physique classique à la théorie des quanta 136
Le rayonnement électromagnétique 138
La théorie des quanta de Planck 139
- 5.2 L'effet photoélectrique 140
- 5.3 Le modèle de l'atome de Bohr 142
Les spectres d'émission 142
Le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène 143
- 5.4 La nature dualiste de l'électron 147
- 5.5 La mécanique quantique 149
La chimie en action LA MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE 150
- 5.6 La mécanique quantique appliquée à l'atome d'hydrogène 151
- 5.7 Les nombres quantiques 152
Le nombre quantique principal (n) 152
Le nombre quantique secondaire ou azimutal (l) 152
Le nombre quantique magnétique (m) 152
Le nombre quantique de rotation propre ou de spin (s) 153
- 5.8 Les orbitales atomiques 153
Les orbitales s 153
Les orbitales p 155
Les orbitales d et les autres orbitales à énergie plus élevée 155
L'énergie des orbitales 156
- 5.9 La configuration électronique 158
Le principe d'exclusion de Pauli 159
Le diamagnétisme et le paramagnétisme 160
L'effet d'écran dans les atomes polyélectroniques 160
La règle de Hund 161
Les règles générales d'attribution des électrons aux orbitales atomiques 162
- 5.10 Le principe de construction (ou de l'*aufbau*) 164
Résumé 168
Équations clés 169
Mots clés 169
Questions et problèmes 169

CHAPITRE 6

LE TABLEAU PÉRIODIQUE



- 6.1 Le développement du tableau périodique 178
- 6.2 La classification périodique des éléments 179
La chimie en action LE TABLEAU PÉRIODIQUE ACTUEL 182
Les configurations électroniques des cations et des anions 183
Les ions dérivés des éléments représentatifs 183
Les cations dérivés des métaux de transition 183
- 6.3 Les variations périodiques des propriétés physiques 184
La charge nucléaire effective 184
Le rayon atomique 184
Le rayon ionique 187
- 6.4 L'énergie d'ionisation 189
- 6.5 L'affinité électronique 192
- 6.6 Les propriétés chimiques des éléments de chaque groupe 194
Les tendances générales des propriétés chimiques 194
L'hydrogène ($1s^1$) 195
Les éléments du groupe 1A ($ns^1, n \geq 2$) 195
Les éléments du groupe 2A ($ns^2, n \geq 2$) 196
Les éléments du groupe 3A ($ns^2 np^1, n \geq 2$) 197
Les éléments du groupe 4A ($ns^2 np^2, n \geq 2$) 198
Les éléments du groupe 5A ($ns^2 np^3, n \geq 2$) 198
Les éléments du groupe 6A ($ns^2 np^4, n \geq 2$) 199
Les éléments du groupe 7A ($ns^2 np^5, n \geq 2$) 200
Les éléments du groupe 8A ($ns^2 np^6, n \geq 2$) 201
Les propriétés des oxydes dans une période 202

CHAPITRE 5

LA STRUCTURE ÉLECTRONIQUE DES ATOMES

De la physique classique à la théorie des quanta 136

Le rayonnement électromagnétique 138

La théorie des quanta de Planck 139

L'effet photoélectrique 140

Le modèle de l'atome de Bohr 142

Les spectres d'émission 142

Le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène 143

La nature dualiste de l'électron 147

La mécanique quantique 149

La chimie en action LA MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE 150

La mécanique quantique appliquée à l'atome d'hydrogène 151

Les nombres quantiques 152

Le nombre quantique principal (n) 152

Le nombre quantique secondaire ou azimutal (l) 152

Le nombre quantique magnétique (m) 152

Le nombre quantique de rotation propre ou de spin (s) 153

Les orbitales atomiques 153

Les orbitales s 153

Les orbitales p 155

Les orbitales d et les autres orbitales à énergie plus élevée 155

L'énergie des orbitales 156

La configuration électronique 158

Le principe d'exclusion de Pauli 159

Le diamagnétisme et le paramagnétisme 160

L'effet d'écran dans les atomes polyélectroniques 160

La règle de Hund 161

Les règles générales d'attribution des électrons aux orbitales atomiques 162

Le principe de construction (ou de l'aufbau) 164

Résumé 168

Équations clés 169

Mots clés 169

Questions et problèmes 169

CHAPITRE 6

LE TABLEAU PÉRIODIQUE

Le développement du tableau périodique 178

La classification périodique des éléments 179

La chimie en action LE TABLEAU PÉRIODIQUE ACTUEL 182

Les configurations électroniques des cations et des anions 183

Les ions dérivés des éléments représentatifs 183

Les cations dérivés des métaux de transition 183

Les variations périodiques des propriétés physiques 184

La charge nucléaire effective 184
Le rayon atomique 184
Le rayon ionique 187
L'énergie d'ionisation 189
L'affinité électronique 192
Les propriétés chimiques des éléments de chaque groupe 194
Les tendances générales des propriétés chimiques 194
L'hydrogène ($1s^1$) 195
Les éléments du groupe 1A (ns^1 , $n = 2$) 195
Les éléments du groupe 2A (ns^2 , $n = 2$) 196
Les éléments du groupe 3A ($ns^2 np^1$, $n = 2$) 197
Les éléments du groupe 4A ($ns^2 np^2$, $n = 2$) 198
Les éléments du groupe 5A ($ns^2 np^3$, $n = 2$) 198
Les éléments du groupe 6A ($ns^2 np^4$, $n = 2$) 199
Les éléments du groupe 7A ($ns^2 np^5$, $n = 2$) 199
Les éléments du groupe 8A ($ns^2 np^6$, $n = 2$) 200
Les propriétés des oxydes dans une période 202

CHAPITRE 7

LA LIAISON CHIMIQUE I : LA LIAISON COVALENTE



- 7.1 La notation de Lewis 212
- 7.2 La liaison covalente 212
- 7.3 L'électronégativité 214
- 7.4 Les règles d'écriture des structures de Lewis 217
- 7.5 La charge formelle et les structures de Lewis 219
- 7.6 Le concept de résonance 222
- 7.7 Les exceptions à la règle de l'octet 223
 - L'octet incomplet 224
 - Les molécules à nombre impair d'électrons 224
 - La chimie en action LE NO, UNE SI PETITE MOLÉCULE POUR DE SI GRANDES PROUESSES ! 225
 - L'octet étendu 226
- 7.8 La force de la liaison covalente 226
 - L'utilisation des énergies de liaison en thermochimie 228
 - Résumé 230
 - Équations clés 231
 - Mots clés 231
 - Questions et problèmes 231

CHAPITRE 8

LA LIAISON CHIMIQUE II : LA FORME DES MOLÉCULES ET L'HYBRIDATION DES ORBITALES ATOMIQUES



- 8.1 La géométrie moléculaire 240
 - La forme des molécules dont l'atome central n'a aucun doublet libre 240
 - AB₂: le chlorure de béryllium (BeCl₂) 242
 - AB₃: le trifluorure de bore (BF₃) 242
 - AB₄: le méthane (CH₄) 242
 - AB₅: le pentachlorure de phosphore (PCl₅) 243
 - AB₆: l'hexafluorure de soufre (SF₆) 243
 - La forme des molécules dont l'atome central a un ou plusieurs doublets libres 243
 - AB₂E: le dioxyde de soufre (SO₂) 244
 - AB₃E: l'ammoniac (NH₃) 244
 - AB₂E₂: l'eau (H₂O) 245
 - AB₄E: le tétrafluorure de soufre (SF₄) 246
 - La forme des molécules ayant plus de un atome central 246
 - Les règles à suivre pour appliquer le modèle de RPEV 246
- 8.2 Les moments dipolaires 249
 - La chimie en action LES FOURS À MICRO-ONDES — LES MOMENTS DIPOLAIRES AU TRAVAIL 252
- 8.3 La théorie de la liaison de valence (LV) 254
- 8.4 L'hybridation des orbitales atomiques 256
 - L'hybridation sp³ 257
 - L'hybridation sp 258
 - L'hybridation sp² 259
 - La méthode à suivre pour hybrider des orbitales atomiques 260
 - L'hybridation des orbitales s, p et d 263
- 8.5 L'hybridation dans les molécules qui contiennent des liaisons doubles et triples 265
- 8.6 La théorie des orbitales moléculaires [OM] 267
 - La chimie en action LES ORBITALES EXISTENT-ELLES RÉELLEMENT ? 268
 - Les orbitales moléculaires liantes et antiliantes 269

Résumé 203

Mots clés 204

Questions et problèmes 204

CHAPITRE 7

LA LIAISON CHIMIQUE I: LA LIAISON COVALENTE

La notation de Lewis 212

La liaison covalente 212

L'électronégativité 214

Les règles d'écriture des structures de Lewis 217

La charge formelle et les structures de Lewis 219

Le concept de résonance 222

Les exceptions à la règle de l'octet 223

L'octet incomplet 224

Les molécules à nombre impair d'électrons 224

La chimie en action LE NO, UNE SI PETITE MOLÉCULE POUR DE SI GRANDES PROUESSES! 225

L'octet étendu 226

La force de la liaison covalente 226

L'utilisation des énergies de liaison en thermochimie 228

Résumé 230

Équations clés 231

Mots clés 231

Questions et problèmes 231

CHAPITRE 8

LA LIAISON CHIMIQUE II: LA FORME DES MOLÉCULES ET L'HYBRIDATION DES ORBITALES ATOMIQUES

La géométrie moléculaire 240

La forme des molécules dont l'atome central n'a aucun doublet libre 240

AB₂: le chlorure de béryllium (BeCl₂) 242

AB₃: le trifluorure de bore (BF₃) 242

AB₄: le méthane (CH₄) 242

AB₅: le pentachlorure de phosphore (PCl₅) 243

AB₆: l'hexafluorure de soufre (SF₆) 243

La forme des molécules dont l'atome central a un ou plusieurs doublets libres 243

AB₂E: le dioxyde de soufre (SO₂) 244

AB₃E: l'ammoniac (NH₃) 244

AB₂E₂: l'eau (H₂O) 245

AB₄E: le tétrafluorure de soufre (SF₄) 246

La forme des molécules ayant plus de un atome central 246

Les règles à suivre pour appliquer le modèle de RPEV 246

Les moments dipolaires 249

La chimie en action LES FOURS À MICRO-ONDES --LES MOMENTS DIPOLAIRES AU TRAVAIL 252

La théorie de la liaison de valence (LV) 254
L'hybridation des orbitales atomiques 256
L'hybridation sp^3 257
L'hybridation sp 258
L'hybridation sp^2 259
La méthode à suivre pour hybrider des orbitales atomiques 260
L'hybridation des orbitales s, p et d 263
L'hybridation dans les molécules qui contiennent des liaisons doubles et triples 265
La théorie des orbitales moléculaires [OM] 267
La chimie en action LES ORBITALES EXISTENT-ELLES RÉELLEMENT? 268
Les orbitales moléculaires liantes et antiliantes 269

8.7	Les configurations électroniques des orbitales moléculaires	272
	Les règles gouvernant la configuration électronique moléculaire	272
	Les molécules d'hydrogène et d'hélium	272
	Les molécules homonucléaires diatomiques des éléments de la deuxième période	274
	La molécule de lithium (Li_2)	275
	La molécule de carbone (C_2)	275
	La molécule de d'oxygène (O_2)	276
8.8	Les orbitales moléculaires délocalisées	277
	La molécule de benzène	277
	L'ion carbonate	278
	Résumé	279
	Équations clés	280
	Mots clés	280
	Questions et problèmes	280

CHAPITRE 9

LES FORCES INTERMOLECULAIRES,
LES LIQUIDES ET LES SOLIDES

286



9.1	La théorie cinétique des liquides et des solides	288
9.2	Les forces intermoléculaires	288
	Les forces dipôle-dipôle	289
	Les forces ion-dipôle	289
	Les forces de dispersion	290
	La liaison hydrogène	292
9.3	L'état liquide	294
	La tension superficielle	294
	La viscosité	296
	La structure et les propriétés de l'eau	296
	La chimie en action POURQUOI LES LACS GELENT-ILS DE HAUT EN BAS ?	298
9.4	Les structures cristallines	299
	L'empilement de sphères	300
9.5	Les liaisons dans les solides cristallins	302
	Les solides ioniques	302
	Les solides moléculaires	303
	Les solides covalents	304
	Les solides métalliques	305
9.6	Les changements de phase	305
	L'équilibre liquide-vapeur	306
	La pression de vapeur	306
	La chaleur de vaporisation et le point d'ébullition	307
	La température critique et la pression critique	310
	L'équilibre liquide-solide	310
	L'équilibre solide-vapeur	312
9.7	Les diagrammes de phases	312
	L'eau	313
	Le dioxyde de carbone	313
	La chimie en action LA CUISSON D'UN ŒUF À LA COQUE À HAUTE ALTITUDE, LES COCOFTES MINUTE ET LE PATINAGE SUR GLACE	314
	Résumé	315
	Équations clés	316
	Mots clés	316
	Questions et problèmes	316

Les configurations électroniques des orbitales moléculaires	272
Les règles gouvernant la configuration électronique moléculaire	272
Les molécules d'hydrogène et d'hélium	272
Les molécules homonucléaires diatomiques des éléments de la deuxième période	274
La molécule de lithium (Li ₂)	275
La molécule de carbone (C ₂)	275
La molécule de d'oxygène (O ₂)	276
8.8 Les orbitales moléculaires délocalisées	277
La molécule de benzène	277
L'ion carbonate	278
Résumé	279
Équations clés	280
Mots clés	280
Questions et problèmes	280
CHAPITRE 9	
LES FORCES INTERMOLECULAIRES, LES LIQUIDES ET LES SOLIDES	
La théorie cinétique des liquides et des solides	288
Les forces intermoléculaires	288
Les forces dipôle-dipôle	289
Les forces ion-dipôle	289
Les forces de dispersion	290
La liaison hydrogène	292
L'état liquide	294
La tension superficielle	294
La viscosité	296
La structure et les propriétés de l'eau	296
La chimie en action POURQUOI LES LACS GÈLENT-ILS DE HAUT EN BAS?	298
Les structures cristallines	299
L'empilement de sphères	300
Les liaisons dans les solides cristallins	302
Les solides ioniques	302
Les solides moléculaires	303
Les solides covalents	304
Les solides métalliques	305
Les changements de phase	305
L'équilibre liquide-vapeur	306
La pression de vapeur	306
La chaleur de vaporisation et le point d'ébullition	307
La température critique et la pression critique	310
L'équilibre liquide-solide	310
L'équilibre solide-vapeur	312
Les diagrammes de phases	312
L'eau	313

Le dioxyde de carbone 313

La chimie en action LA CUISSON D'UN OEUF À LA COQUE À HAUTE ALTITUDE, 314

Résumé 315

Équations clés 316

Mots clés 316

LES COCOTTES MINUTE ET LE PATINAGE SUR GLACE 314

Questions et problèmes 316

ANNEXE 1	LES UNITÉS DE LA CONSTANCE DES GAZ	322
ANNEXE 2	OPÉRATIONS MATHÉMATIQUES	323
ANNEXE 3	LES ÉLÉMENTS, LEURS SYMBOLES ET L'ORIGINE DE LEURS NOMS	325
ANNEXE 4	LE CODE DE COULEUR DES MODÈLES MOLÉCULAIRES	331
	GLOSSAIRE	333
	RÉPONSES AUX PROBLÈMES	339
	SOURCES DES PHOTOS	355
	INDEX	357
	TABLEAU PÉRIODIQUE	363

ANNEXE 1 LES UNITÉS DE LA CONSTANTE DES GAZ 322

ANNEXE 2 OPÉRATIONS MATHÉMATIQUES 323

ANNEXE 3 LES ÉLÉMENTS, LEURS SYMBOLES ET L'ORIGINE DE LEURS NOMS 325

ANNEXE 4 LE CODE DE COULEUR DES MODÈLES MOLÉCULAIRES 331

GLOSSAIRE

RÉPONSES AUX PROBLÈMES

SOURCES DES PHOTOS

INDEX

TABLEAU PÉRIODIQUE

