

 JE ME TROMPE
DONC J'APPRENDS ! 

Chimie

Stéphane Perrio
Béatrice Roy
Jean-Yves Winum



-  PLUS DE 100 EXERCICES CORRIGÉS
-  LES ERREURS CLASSIQUES ANALYSÉES
-  LES PIÈGES DÉVOILÉS

DUNOD

Des mêmes auteurs : *Chimie*, coll. « Fluorescences », 2017

Direction artistique : Élisabeth Hébert
Conception graphique de la couverture : Pierre-André Gualino
Création de la maquette : Yves Tremblay
Mise en page : Lumina Datamatics, Inc.
Image de couverture : © Jacob Lund – AdobeStock.com

© Dunod, 2020

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com

ISBN 978-2-10-081850-1

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Avant-propos	VIII
Remerciements	X
Fiche 1 Le système international d'unités et la masse volumique	1
Fiche 2 Les chiffres significatifs et la notation scientifique	3
Fiche 3 Les calculs d'incertitudes	5
Fiche 4 Les phénomènes chimiques ou physiques	7
Fiche 5 Les changements d'état	9
Fiche 6 La composition de l'atome	11
Fiche 7 Les hydrogénoïdes et l'énergie d'ionisation	13
Fiche 8 La spectroscopie d'absorption et d'émission atomique	15
Fiche 9 Les nombres quantiques (n, l, m_l, m_s)	17
Fiche 10 La représentation des orbitales atomiques	19
Fiche 11 La configuration électronique	21
Fiche 12 Les électrons de valence	23
Fiche 13 Le symbole et la famille des éléments chimiques	25
Fiche 14 La structure de Lewis et le degré d'oxydation	27
Fiche 15 Les charges formelles	29
Fiche 16 Les règles de Gillespie (méthode VSEPR)	31
Fiche 17 Les différents types de liaison chimique	33
Fiche 18 Les liaisons chimiques intermoléculaires	35
Fiche 19 Les entités chimiques	37
Fiche 20 Le système cubique centré (CC)	39
Fiche 21 Le système cubique faces centrées (CFC)	41
Fiche 22 L'hybridation en chimie organique	43
Fiche 23 La formule brute	45
Fiche 24 La composition centésimale massique	47
Fiche 25 Les formules planes	49
Fiche 26 Le nombre d'insaturations	51
Fiche 27 La masse molaire	53
Fiche 28 La quantité de matière	55
Fiche 29 La nomenclature des composés inorganiques	57
Fiche 30 La nomenclature des alcanes	59
Fiche 31 La nomenclature des alcènes et des alcynes	61

Table des matières

Fiche 32 Les fonctions chimiques	63
Fiche 33 La classe des fonctions : primaire, secondaire ou tertiaire	65
Fiche 34 Les tautomères et la tautomérie	67
Fiche 35 La nomenclature des composés polyfonctionnels (1)	69
Fiche 36 La nomenclature des composés polyfonctionnels (2)	71
Fiche 37 Les plans et les axes de symétrie	73
Fiche 38 La représentation de Cram	75
Fiche 39 La projection de Newman	77
Fiche 40 La projection de Fischer	79
Fiche 41 L'écriture d'isomères de constitution à partir d'une formule brute	81
Fiche 42 Les isomères de constitution	83
Fiche 43 Les règles de Cahn, Ingold et Prelog	85
Fiche 44 Les stéréodescripteurs <i>R</i> et <i>S</i>	87
Fiche 45 Les relations d'isomérie	89
Fiche 46 La chiralité	91
Fiche 47 L'activité optique et le pouvoir rotatoire	93
Fiche 48 Les énantiomères et les diastéréoisomères	95
Fiche 49 Les stéréodescripteurs <i>Z</i> et <i>E</i>	97
Fiche 50 Les stéréodescripteurs <i>cis</i> et <i>trans</i>	99
Fiche 51 Les séries <i>D</i> et <i>L</i>	101
Fiche 52 Les composés <i>méso</i>	103
Fiche 53 Les conformations et les conformères	105
Fiche 54 Les conformations chaise du cyclohexane	107
Fiche 55 La liaison polarisée et les effets inducteurs	109
Fiche 56 La lacune électronique	111
Fiche 57 Les systèmes conjugués et la mésomérie	113
Fiche 58 Les formes limites de résonance	115
Fiche 59 La mésomérie avec des entités chargées	117
Fiche 60 La stabilité des carbocations	119
Fiche 61 Les carbanions : stabilité et basicité	121
Fiche 62 La basicité d'un centre azoté	123
Fiche 63 L'aromaticité	125
Fiche 64 Équilibrer une équation chimique	127
Fiche 65 La loi des gaz parfaits	129

Fiche 66	Le tableau d'avancement	131
Fiche 67	La constante d'équilibre	133
Fiche 68	Les échanges de chaleur	135
Fiche 69	La vitesse d'une réaction	137
Fiche 70	L'ordre d'une réaction	139
Fiche 71	Le diagramme énergétique	141
Fiche 72	Les nucléophiles et les électrophiles	143
Fiche 73	L'écriture d'un mécanisme réactionnel	145
Fiche 74	Les types de réaction en chimie organique	147
Fiche 75	Les réactions acido-basiques en chimie organique	149
Fiche 76	Séréosélectivité et stéréospécificité	151
Fiche 77	Les réactions d'oxydoréduction	153
Fiche 78	La prévision des réactions d'oxydoréduction	155
Fiche 79	Équilibrer une équation d'oxydoréduction en milieu acide	157
Fiche 80	Équilibrer une équation d'oxydoréduction en milieu basique	159
Fiche 81	La pile galvanique et le potentiel standard de réduction	161
Fiche 82	Le potentiel d'une pile et l'équation de Nernst	163
Fiche 83	La concentration et la dilution	165
Fiche 84	La solubilité et le produit de solubilité	167
Fiche 85	Les réactions acide-base	169
Fiche 86	Le produit ionique de l'eau et le pH	171
Fiche 87	Le diagramme de prédominance	173
Fiche 88	Le pH d'une solution aqueuse d'un acide	175
Fiche 89	Le pH d'une solution aqueuse d'une base	177
Fiche 90	Les solvants	179
Fiche 91	L'analyse fonctionnelle	181
Fiche 92	L'analyse qualitative des ions	183
Fiche 93	La réalisation d'un montage à reflux	185
Fiche 94	Calcul du rendement d'une réaction	187
Fiche 95	La chromatographie sur couche mince	189
Fiche 96	L'extraction liquide-liquide	191
Fiche 97	L'excès énantiomérique	193
Fiche 98	Les ondes électromagnétiques	195

Table des matières

Fiche 99	La résonance magnétique nucléaire (1)	197
Fiche 100	La résonance magnétique nucléaire (2)	199
Fiche 101	La spectroscopie UV-visible	201
Fiche 102	La spectroscopie infrarouge	203
Annexe 1	Tableau périodique des éléments	205
Annexe 2	Valeurs de quelques constantes fondamentales	206
Annexe 3	Électronégativité des atomes selon l'échelle de Pauling	207
Annexe 4	Fonctions chimiques et nomenclature	208
Annexe 5	Table simplifiée des déplacements chimiques (δ) en RMN ^1H	209
Index des mots-clés		210
Index		211

Je me trompe, donc j'apprends !

STRUCTURES CHIMIQUES

16

Les règles de Gillespie (méthode VSEPR)

Énoncé

Le chlorure de thionyle SOCl_2 est un réactif inorganique utilisé dans des réactions de chloration. Il permet, par exemple, la transformation de l'acide propanoïque en chlorure de propanoyle et du propan-1-ol en 1-chloropropane. Après avoir codifié la molécule SOCl_2 selon la terminologie VSEPR, la représenter dans l'espace. En déduire sa géométrie.

Réponse de l'étudiant

Codification : AX_2E_0 ; géométrie plane ; Structure :



Réflexes pour bien répondre

La codification est incorrecte, probablement à cause d'une mauvaise écriture de la structure de Lewis de la molécule (décompte électronique incorrect et absence de doublets non liants sur la structure proposée). Il en résulte que la géométrie est aussi fautive. Elle est toutefois cohérente avec la codification AX_2E_0 qui a été suggérée.

La géométrie d'une molécule simple avec un atome central peut être déterminée par les règles de Gillespie (méthode VSEPR, Valence Shell Electron Pair Repulsion) à travers la codification AX_mE_n (A : l'atome central ; m : le nombre d'atomes X directement liés à l'atome central et n : le nombre de doublets non liants portés par l'atome central) et de la figure de répulsion associée. La notation est directement liée à la représentation de la molécule selon Lewis, et donc à son décompte électronique. Ce dénombrement, qui doit figurer dans la représentation de Lewis (voir Fiche 14), correspond aux électrons de valence N_v de chaque atome présent.

Dans le cas du chlorure de thionyle SOCl_2 , proposé dans l'exercice, les trois atomes impliqués ont les caractéristiques résumées ci-dessous.

Atome	Numéro atomique Z	Configur.
Soufre (S)	16	$1s^2$
Oxygène (O)	8	$1s^2$
Chlore (Cl)	17	$1s^2$

Le nombre total d'électrons devant apparaître dans la structure de Lewis est de $6 + 6 + (2 \times 7) = 26$ (13 paires électroniques). Il est lié aux deux atomes de chlore (Cl) par l'atome d'oxygène (O) avec une liaison double (3 4

comporte aussi un doublet non liant ($n = 1$). On notera que l'atome de soufre s'est entouré de 10 électrons (règle de l'octet étendu, voir Fiche 14). Il en résulte la codification AX_2E_0 . La molécule en trois dimensions. Les deux atomes de chlore et l'atome d'oxygène pointent vers les sommets du tétraèdre, tandis que le doublet libre est positionné sur le quatrième sommet (on peut placer ces quatre éléments d'une manière aléatoire).



Structure de Lewis



Figure de répulsion (Tétraèdre)



Représentation de Cram



Géométrie (Pyramide à base triangulaire)

Pour la géométrie, on ne prend en compte que les atomes autour de l'atome central. C'est ici une pyramide à base triangulaire.

Réponse exacte

Codification : AX_2E_0 . Figure de répulsion : tétraèdre. Géométrie : pyramide à base triangulaire.

Pour aller plus loin

La figure de répulsion rend compte de la répulsion entre tous les doublets, liants et non liants « fixés » à l'atome central A. Elle est définie par la valeur ($m + n$) de la codification AX_mE_n . En plus de la figure de répulsion tétraédrique ($m + n = 4$) abordée dans l'exercice, on rencontre les figures linéaire ($m + n = 2$), triangulaire ($m + n = 3$), bipyramide à base triangulaire ($m + n = 5$) et octaédrique ($m + n = 6$).



$m + n = 2$
Segment de droite



$m + n = 3$
Triangle équilatéral



$m + n = 5$
Bipyramide à base triangulaire



$m + n = 6$
Octaèdre

Ne tombez pas dans le piège

- Les orbitales vacantes (ou lacune électronique, voir Fiche 55) ne sont pas à considérer dans la notation VSEPR. Exemple : AX_2E_3 pour BH_2^+ .
- Ne pas confondre figure de répulsion et géométrie. Cependant, pour les codifications avec $n = 0$ (AX_mE_0), le nom de la figure de répulsion est le même que celui de la géométrie (aucun doublet non liant sur l'atome central).
- Des composés qui ont des formules qui se ressemblent fortement n'ont pas obligatoirement la même codification et, de surcroît, la même géométrie. Comparer SOCl_2 (AX_2E_0 , géométrie pyramide à base triangulaire) avec COCl_2 (AX_2E_0 , géométrie triangulaire).

102 fiches de 2 pages, regroupées par thème

1 Chaque fiche commence par l'énoncé d'un exercice ou QCM type d'examen

2 La réponse fautive « type » de l'étudiant est donnée

3 Dans un encadré une analyse de la réponse fautive est proposée

Suivent ensuite des rappels de cours et la méthode à suivre pour répondre à l'énoncé...

...ce qui conduit à la réponse exacte qui apparaît au verso de la fiche

Un encadré tramé fait un zoom sur les points à retenir

Chaque fiche se termine par une rubrique « Les pièges à éviter »

Avant-propos

*Le succès ne consiste pas à ne jamais faire d'erreurs,
mais à ne jamais faire la même erreur deux fois.*

George Bernard Shaw

Aborder des exercices, en l'occurrence de chimie, en s'attardant sur l'erreur est une approche pédagogique particulièrement originale. Les erreurs sont parfois évoquées dans des ouvrages, mais de façon sporadique et sous la forme d'un bêtisier. Le concept de l'erreur est abordé ici d'une façon positive dans le processus d'apprentissage. Cet aspect constitue la philosophie même de cet ouvrage. Nous espérons que cette approche sera stimulante et sécurisante pour le lecteur étudiant. Il ne faut surtout pas considérer l'erreur comme une « perle » pour en rire, ni comme une faute difficile à vivre et systématiquement sanctionnée. Pour élaborer ce manuel, nous nous sommes appuyés sur nos expériences d'enseignement, déjà longues, à l'université et les erreurs que nous avons rencontrées de manière récurrente à travers les différents flux d'étudiants que nous avons côtoyés.

Ce manuel regroupe 102 fiches d'exercices, sous un format recto-verso. Chaque fiche aborde une notion de chimie bien spécifique, au travers d'un exercice court, et s'articule autour des sept éléments structuraux suivants :

- l'énoncé d'un problème « type » ;
- une réponse, fausse ou partiellement incorrecte, fréquemment rencontrée dans les copies d'étudiants ;
- un commentaire sur la réponse précédente, en se focalisant brièvement sur les points corrects et incorrects ;
- un rappel de cours sur la notion abordée, suivi de la méthode préconisée pour résoudre correctement l'exercice ;
- un récapitulatif de la réponse exacte ;
- un complément sur la notion, qui va au-delà de ce qui était nécessaire pour traiter l'exercice ;
- et enfin un rappel de vigilance sur les erreurs à éviter.

Nous n'avons pas souhaité regrouper ces fiches par chapitre ou par grand domaine de la chimie (chimie physique, chimie inorganique et chimie organique). En effet, la frontière pour ce dernier critère, peut être particulièrement ténue et fonction de l'exemple abordé dans l'exercice. Nous avons choisi de les ordonner selon une logique globale de progression des connaissances. Ainsi, afin que le lecteur puisse facilement identifier le sujet d'une fiche, nous lui avons affecté systématiquement un **mot-clé** (indiqué en haut à droite de chaque fiche) parmi les 17 énumérés ci-après par ordre d'occurrence décroissante (le nombre de fiches est indiqué entre parenthèses) : **stéréochimie** (17), **chimie des solutions** (13), **atomistique** (8), **structures chimiques** (8), **effets électroniques** (8), **nomenclature** (7), **chimie expérimentale** (7), **mécanismes réactionnels** (6), **spectroscopie** (5), **transformations chimiques** (4), **formules chimiques** (4), **métrologie** (3), **thermochimie** (3), **isomérisation** (3), **cristallographie** (2), **grandeurs** (2) et **cinétique** (2). Les fiches labélisées avec un mot-clé identique se succèdent le plus souvent, mais certaines peuvent aussi se trouver déconnectées.

Le nombre d'exercices de cet ouvrage est volontairement limité. Les exercices choisis sont donc ciblés et jugés incontournables ou impliquant des notions importantes, mais peu abordées de manière générale. Par ailleurs, nous avons essayé de varier le type d'exercices avec des énoncés sous la forme de problèmes, de questions ou de QCM. Certains QCM sont issus d'épreuves de concours d'accès aux études de santé. Une vision objective de la difficulté de la notion apparaît alors avec le pourcentage réel de réussite qui est mentionné.

Ce livre s'adresse globalement aux étudiants ayant un enseignement de chimie dans leur cursus post-baccalauréat, c'est-à-dire en L1 Sciences ou Accès Santé, en classes préparatoires ou en DUT/BTS.

*Des questions ? Des suggestions ? Des erreurs repérées ?
N'hésitez pas à contacter l'équipe d'auteurs à l'adresse suivante :
JeMeTrompe.Chimie@gmail.com*

Stéphane Perrio (université de Caen Normandie)

Béatrice Roy (université de Montpellier)

Jean-Yves Winum (université de Montpellier)

Remerciements

Nous souhaitons vivement remercier les collègues, la plupart enseignants-chercheurs, qui ont participé comme correcteurs à l'élaboration de cet ouvrage. Ils ont contrôlé les exercices, mais aussi apporté de précieux commentaires et de judicieuses critiques, sur la base de leurs expériences pédagogiques dans les différents domaines de la chimie que nous avons abordés (chimie physique, organique ou inorganique). Toutefois, nous assumons l'entière responsabilité des coquilles ou erreurs qui pourraient subsister.

Nous souhaitons tout d'abord saluer le travail de relecture des collègues plus éloignés géographiquement : Paul-Alain Jaffrès (Brest), Jacques Uziel (Cergy-Pontoise), Isabelle Bonnamour et Nathalie Pérol (Lyon), Karine Julienne-Aphecette (Nantes), Isabelle Chataigner et Sylvain Oudeyer (Rouen). Un grand merci ensuite à ceux que nous croisons quotidiennement : Nathalie Bar, Marie-Claire Lasne, Cyprien Lemouchi, Jean-François Lohier, Emmanuel Pfund, Laetitia Oliviero, Vincent Reboul et Karine Thomas (Caen), Xavier Bantreil, Sébastien Clément, Jean-Sébastien Filhol, Patrice Huguet, David Egron et Florence Rouessac (Montpellier).

Enfin, nous tenons à remercier les éditions Dunod, et plus particulièrement Lætitia Hérin pour son écoute et son soutien depuis l'amorce de ce projet et Eléna Chryssos, pour le suivi de la réalisation de l'ouvrage.

L'ensemble des personnes mentionnées a contribué, nous l'espérons, à faire de ce manuel d'exercices, un outil de travail clair, agréable à consulter et utile au public étudiant ciblé.

1 Le système international d'unités et la masse volumique

Énoncé

Le nickel (Ni) est un métal blanc argenté, très stable face à l'oxydation et la corrosion. Il est utilisé en particulier dans les pièces de monnaie, pour le plaquage du fer, du cuivre, du laiton. On le retrouve également dans un grand nombre d'alliages métalliques présentant des propriétés mécaniques et thermiques remarquables. Le nickel à l'état solide a une masse volumique $\rho = 8,902 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ à une température de 20°C . Définir la masse volumique et convertir celle du nickel dans les unités du système international.

Réponse de l'étudiant 😞

La masse volumique est la masse divisée par le volume. Dans le système international, la masse volumique du nickel est égale à $8\,902\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

⚙️ Réflexes pour bien répondre

La définition donnée par l'étudiant manque de précision. La conversion dans les unités du système international est fausse.

La masse volumique d'une substance notée ρ (lettre grecque rhô) est une grandeur physique caractérisant la masse d'une substance par unité de volume. Chaque corps pur a une masse volumique spécifique. Son unité dans le système international est le kilogramme par mètre cube ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

- Pour un liquide et un solide : $\rho = m/V$.
- Pour un gaz : $\rho = m/V$. En le considérant comme gaz parfait (► **Fiche 65**), $m = n \times M$ avec $n = (P \times V)/(R \times T)$; donc $\rho = (M \times P)/(R \times T)$ avec P la pression en Pa, T la température en K, M la masse molaire en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et la constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$.

La température a une influence sur les propriétés physiques des substances, en particulier sur la pression et le volume. Étant donné que, par définition, la masse volumique implique un volume, il est nécessaire de préciser la température à laquelle elle a été calculée. On l'indique généralement en indice de ρ .

Dans l'exercice proposé, il est demandé de convertir la masse volumique du nickel dans les unités du système international (SI).

Les sept grandeurs de base correspondant aux sept unités de base du SI sont déclinées dans le tableau suivant :

Grandeurs	Unités
Longueur l	mètre : m
Masse m	kilogramme : kg
Temps t	seconde : s
Température T	kelvin : K
Quantité de matière n	mole : mol