

**TOUT EN
FICHES**

MÉMO VISUEL DE
CHIMIE ORGANIQUE

4^e ÉDITION

Sous la direction de **Jacques Maddaluno**, directeur de recherche au CNRS
(université de Rouen Normandie).

- **Véronique Bellosta**, professeure retraitée de l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI Paris-PSL).
- **Isabelle Chataigner**, professeure à l'université de Rouen Normandie.
- **François Couty**, ancien professeur à l'université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines.
- **Anne Harrison-Marchand**, maître de conférences à l'IUT de Rouen.
- **Marie-Claire Lasne**, professeure retraitée de l'université de Caen Normandie.
- **Chrystel Lopin-Bon**, professeure à l'université d'Orléans.
- **Jacques Rouden**, professeur à l'ENSICAEN.

DUNOD

Uniformisation des illustrations et mise en page des fiches :
Bernadette Coléno
Direction artistique : Nicolas Weil
Conception graphique de la couverture :
Élizabeth Riba

© Dunod, 2015, 2018, 2021, 2024

11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-086991-6

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	IX
--------------------	----

CHAPITRE 1 – DE L'ATOME AUX MOLÉCULES

FICHE 1	Les éléments et les liaisons chimiques.	2
FICHE 2	La liaison hydrogène	3
FICHE 3	Les liaisons de Van der Waals	4
FICHE 4	La molécule sous toutes ses formes	6
FICHE 5	La géométrie des molécules	7
FICHE 6	La représentation des atomes tétraédriques.	8
FICHE 7	Les molécules et les électrons : que d'effets !.	9
FICHE 8	L'effet inductif « I ».	10
FICHE 9	L'effet mésomère « M ».	11
FICHE 10	Les effets électroniques et la réactivité des molécules	13

CHAPITRE 2 – DESSINER, NOMMER ET IDENTIFIER LES MOLÉCULES

FICHE 11	Les principales classes de composés	16
FICHE 12	Les éléments de nomenclature.	17
FICHE 13	La construction du nom d'un composé polyfonctionnel.	19
FICHE 14	Quelques noms de molécules à connaître	20
FICHE 15	Les différents types d'isomérisation	21
FICHE 16	Les conformations des molécules acycliques	22
FICHE 17	Les conformations du cyclohexane	23
FICHE 18	Les stéréodescripteurs <i>Z/E</i> , <i>cis/trans</i> et <i>R/S</i>	25
FICHE 19	Les stéréodescripteurs <i>syn/anti</i> et <i>D/L</i>	27
FICHE 20	La chiralité et l'activité optique	28
FICHE 21	L'énantiomérisation	29
FICHE 22	La diastéréoisomérisation	30
FICHE 23	De l'importance d'être chiral.	31
FICHE 24	La chromatographie	32
FICHE 25	La RMN : théorie	33
FICHE 26	Le spectre de RMN ¹ H	35
FICHE 27	Les spectroscopies d'absorption UV-visible & IR	37
FICHE 28	La spectrométrie de masse	39

CHAPITRE 3 – LES ACTEURS DE LA RÉACTION

FICHE 29	Les acides et les bases	42
FICHE 30	Les nucléophiles et les électrophiles.	43

FICHE 31	L'oxydo-réduction en chimie organique	44
FICHE 32	Les principaux oxydants à base d'oxygène	45
FICHE 33	Les réducteurs	46
FICHE 34	Les solvants	48
FICHE 35	Comment activer une réaction ?	50
FICHE 36	Le transfert de phase	51
FICHE 37	Le déroulé pratique d'une réaction	52

CHAPITRE 4 – COMPRENDRE LA RÉACTION

FICHE 38	Les règles d'écriture des mécanismes	54
FICHE 39	Les intermédiaires réactionnels : carbocations	55
FICHE 40	Les intermédiaires réactionnels : carbanions	56
FICHE 41	Les intermédiaires réactionnels : radicaux	57
FICHE 42	Les intermédiaires réactionnels : carbènes	58
FICHE 43	L'étape élémentaire	59
FICHE 44	Les réactions complexes	60
FICHE 45	Quelques notions de cinétique	61
FICHE 46	L'état de transition	62
FICHE 47	La catalyse	63
FICHE 48	Quelques notions de thermodynamique : les équilibres	64
FICHE 49	Contrôle cinétique/thermodynamique ?	65
FICHE 50	Les sélectivités en chimie organique	66

CHAPITRE 5 – CLASSER LES RÉACTIONS PAR MÉCANISME

FICHE 51	Les grands types de réactions	68
FICHE 52	L'addition électrophile : le carbocation	70
FICHE 53	L'addition électrophile : l'ion ponté	71
FICHE 54	L'addition nucléophile A_N	72
FICHE 55	L'addition nucléophile sur systèmes conjugués	73
FICHE 56	Les additions apolaires syn	74
FICHE 57	La cycloaddition de Diels-Alder	75
FICHE 58	L'élimination $E1$	77
FICHE 59	L'élimination $E2$	78
FICHE 60	Les autres types d'élimination 1,2	79
FICHE 61	La substitution nucléophile unimoléculaire : S_N1	80
FICHE 62	La substitution nucléophile bimoléculaire : S_N2	81
FICHE 63	La comparaison des réactions de S_N1 et S_N2	82

FICHE 64	Les autres substitutions nucléophiles.	83
FICHE 65	L'addition-élimination sur C=C et C=O	84
FICHE 66	La substitution électrophile aromatique: S_EAr	85
FICHE 67	La substitution en position alpha du C=O.	86
FICHE 68	Les réactions radicalaires	87
FICHE 69	Les réarrangements de carbocations.	88
FICHE 70	Les réarrangements d'autres espèces électrophiles	89
FICHE 71	Les réarrangements sigmatropiques.	90
FICHE 72	Les réactions d'oxydation	91
FICHE 73	Les réactions de réduction.	93

CHAPITRE 6 – LES HYDROCARBURES

FICHE 74	Les alcanes.	96
FICHE 75	Les alcènes.	98
FICHE 76	Les alcènes: hydrohalogénations	99
FICHE 77	Les alcènes: dihalogénations	100
FICHE 78	Les alcènes: additions de H–OH (hydratation)	101
FICHE 79	Les alcènes: oxydations douces	102
FICHE 80	Les alcènes: oxydations dures.	103
FICHE 81	Les alcènes: hydrogénation	104
FICHE 82	Les diènes et polyènes	105
FICHE 83	Les alcynes.	106
FICHE 84	La réactivité des alcynes	107
FICHE 85	Les alcynes: hydrohalogénations et halogénations	108
FICHE 86	Les alcynes: hydratations et oxydations.	109
FICHE 87	Les alcynes: réductions	110

CHAPITRE 7 – LES AROMATIQUES

FICHE 88	Le benzène et son aromaticité.	112
FICHE 89	La substitution électrophile aromatique (S_EAr) du benzène	113
FICHE 90	Les effets des substituants sur la S_EAr	114
FICHE 91	Les S_EAr sur un benzène déjà substitué	115
FICHE 92	Les autres réactions des aromatiques.	116
FICHE 93	Les hétéroaromatiques	117

CHAPITRE 8 – LES FONCTIONS MONOVALENTES

FICHE 94	Les halogénoalcanes	120
FICHE 95	La réactivité des halogénoalcanes	121

FICHE 96	Les substitutions nucléophiles des halogénoalcanes	122
FICHE 97	Les réactions d'élimination des halogénoalcanes	123
FICHE 98	La compétition S_N/E sur les halogénoalcanes	124
FICHE 99	Les alcools	125
FICHE 100	Les alcools : coupure des liaisons O–H ou C–O	126
FICHE 101	Les alcools : réactivité nucléophile	127
FICHE 102	La transformation des alcools en dérivés halogénés	128
FICHE 103	L'oxydation des alcools	129
FICHE 104	Les polyols	130
FICHE 105	Les phénols	131
FICHE 106	Les éther-oxydes	132
FICHE 107	Les époxydes	133
FICHE 108	Les thiols	134
FICHE 109	Les amines	135
FICHE 110	Les amines : synthèse par création de la liaison C–N	136
FICHE 111	Les amines : synthèse par réduction de fonctions azotées	137
FICHE 112	Les amines : réactivité	138
FICHE 113	Les anilines	139
FICHE 114	Les organométalliques polaires	140
FICHE 115	La réactivité des organométalliques polaires	141
FICHE 116	Les organométalliques polaires en synthèse	142

CHAPITRE 9 – LES FONCTIONS DIVALENTES

FICHE 117	Les aldéhydes et les cétones : généralités	144
FICHE 118	Les aldéhydes et les cétones : réactivité	145
FICHE 119	Les additions de nucléophiles oxygénés ou soufrés	146
FICHE 120	Les additions de nucléophiles azotés	147
FICHE 121	Les réactions des amines secondaires avec les aldéhydes et cétones	148
FICHE 122	Les additions d'organométalliques au carbonyle	149
FICHE 123	La réaction de Wittig	150
FICHE 124	Les additions de l'ion cyanure au carbonyle	152
FICHE 125	Les réductions des aldéhydes et des cétones	153
FICHE 126	Les oxydations des aldéhydes et des cétones	154
FICHE 127	La tautomérie céto-énolique	155
FICHE 128	L'acidité en alpha du carbonyle	156
FICHE 129	La régiosélectivité de l'énolisation	157
FICHE 130	L'halogénéation en alpha du carbonyle	158

FICHE 131	L'alkylation en alpha du carbonyle	159
FICHE 132	L'aldolisation	160
FICHE 133	L'aldolisation croisée	162
FICHE 134	L'addition de Michael.	163
FICHE 135	L'annélation de Robinson	164

CHAPITRE 10 – LES FONCTIONS TRIVALENTES

FICHE 136	Les fonctions trivalentes : généralités	166
FICHE 137	Les acides carboxyliques	168
FICHE 138	Les halogénures d'acyle et les anhydrides d'acides	170
FICHE 139	La réactivité en position alpha du carboxyle	171
FICHE 140	La synthèse des esters	172
FICHE 141	Les réactions des nucléophiles sur les esters	173
FICHE 142	Les réactions de condensation des esters	174
FICHE 143	Les synthèses et propriétés des amides	175
FICHE 144	La réactivité des amides	176
FICHE 145	Les nitriles	177
FICHE 146	Les composés 1,2-dicarbonylés	178
FICHE 147	Les composés 1,3-dicarbonylés	179

CHAPITRE 11 – LES FONCTIONS TÉTRAVALENTES

FICHE 148	Les principales fonctions tétravalentes	182
FICHE 149	Le dioxyde et le disulfure de carbone	183
FICHE 150	Le phosgène	184
FICHE 151	Les carbamates	185
FICHE 152	Les urées	186

CHAPITRE 12 – ABORDER LA SYNTHÈSE ORGANIQUE

FICHE 153	La synthèse organique	188
FICHE 154	La protection des fonctions	190
FICHE 155	La rétrosynthèse	192
FICHE 156	Les douze principes de la « chimie verte »	194
FICHE 157	La chimie et les ressources renouvelables	195

CHAPITRE 13 – LES BIOMOLÉCULES

FICHE 158	Les acides alpha-aminés	198
FICHE 159	Liste des principaux acides alpha-aminés	199

FICHE 160	Les peptides	201
FICHE 161	Les protéines	202
FICHE 162	Les glucides	204
FICHE 163	La représentation des monosaccharides	205
FICHE 164	Quelques propriétés des monosaccharides	206
FICHE 165	Les polysaccharides	208
FICHE 166	Les glucides azotés	209
FICHE 167	La composition des acides nucléiques	210
FICHE 168	Les acides nucléiques : l'ADN	211
FICHE 169	Les acides nucléiques : l'ARN	212
FICHE 170	Les acides gras	213
FICHE 171	Les lipides saponifiables simples	215
FICHE 172	Les lipides saponifiables complexes	216
FICHE 173	Les terpènes	217
FICHE 174	Le cholestérol et les stéroïdes	218
FICHE 175	Les alcaloïdes	220
FICHE 176	Les enzymes, secrets de la vie	221
FICHE 177	Un exemple de chimie organique in vivo	222

CHAPITRE 14 – LA CHIMIE INDUSTRIELLE

FICHE 178	La chimie organique industrielle	224
FICHE 179	La chimie de base	225
FICHE 180	Les principales transformations de l'éthylène	226
FICHE 181	Le propène	227
FICHE 182	Quelques transformations du monoxyde de carbone	228
FICHE 183	Le benzène et quelques dérivés	229
FICHE 184	L'industrie des dérivés azotés	230
FICHE 185	Les polymères organiques	231
FICHE 186	Les réactions de polymérisation	233
FICHE 187	Quelques applications en agrochimie	235
FICHE 188	Exemples de parfums et cosmétiques	236

Tables des énergies et longueurs de liaisons	237
pKa de quelques couples acides/bases	238
conjuguées en solution aqueuse à 298 K	238
Index	239
Crédits photographiques	245

« L'intelligence ? Une question de chimie organique, rien de plus. On n'est pas plus responsable d'être intelligent que d'être bête. »

Paul Léautaud, 1926

Au cœur donc de notre pensée, la chimie organique est néanmoins déconsidérée par la plupart des étudiants des premiers cycles universitaires qui la trouvent rébarbative et pleine de difficultés surnoises. Selon eux, cette matière à apprendre par cœur pour les examens n'aurait qu'un seul intérêt : celui de pouvoir être oublié dès l'été arrivé... Les enseignants-chercheurs des cinq établissements qui ont rédigé cet ouvrage ne sont pas de cet avis. Et ils mettent tout en œuvre pour convaincre, chaque année, leurs étudiants du caractère exceptionnellement créatif de cette science, en évolution permanente.

La quatrième édition du *Mémo Visuel de Chimie organique*, joliment illustrée, profite de leur intuition pédagogique. Les auteurs n'ont gardé, dans ce livre, que l'essentiel de ce qu'il faut savoir sur les molécules, même les plus complexes, et sur la façon dont elles interagissent. Leur ambition est de montrer au lecteur que quelques idées claires, exprimées simplement, peuvent donner tout son sens à une formule chimique, sans avoir auparavant assimilé plusieurs volumes encyclopédiques.

Il ne s'agit pourtant pas d'un apprentissage au rabais car les principes présentés ici sont les mêmes que ceux sur lesquels les cours plus complets de chimie organique reposent. Peut-on vraiment faire passer l'essentiel du message sous une forme ainsi condensée ? Les auteurs ont pris ce pari en faisant d'abord un rappel des fondamentaux de la physico-chimie puis en décrivant les grandes classes de réactions, avant d'adopter un plan basé sur la réactivité par fonction chimique. Ce voyage s'achève avec les biomolécules et la chimie industrielle, et montre au lecteur à quel point la chimie organique est un des principaux ressorts du monde qui nous entoure.

La lecture des 188 fiches de cette quatrième édition est facilitée par une belle iconographie qui rend palpables, et parfois humoristiques, les concepts ou les applications de chaque chapitre. Les auteurs ont donc tenté de proposer une description « mémovisuelle » de la chimie organique en associant au texte une image (parfois une icône) de référence.

Ce livre est finalement conçu comme un outil de révision dans lequel sont synthétisées les notions développées dans deux ouvrages compagnons des mêmes auteurs. Le premier est un cours complet *Le cours de chimie organique* (Dunod, 4^e édition, 2023) alors que le second *Chimie organique, exercices et méthodes* (Dunod, 2017) propose de passer à la pratique en exerçant son savoir. D'un niveau scientifique correspondant au programme de Licence (1^{re} et 2^e années, IUT), le *Mémo Visuel de Chimie organique* permettra également aux étudiants de l'enseignement, des professions médicales et paramédicales ou des classes préparatoires aux grandes écoles, de revenir rapidement sur les notions essentielles dont ils ont besoin pour préparer les concours.

Pour terminer, nous tenons à rendre un hommage tout particulier à notre regretté collègue, le Pr. François Couty, co-auteur enthousiaste qui a participé aux deux premières éditions de cet ouvrage. S'il nous a hélas quittés le 22 mai 2019, il restera au cœur de nos mémoires et sa contribution aux pages qui suivent est un sourire qu'il nous adresse par-delà le temps qui passe.





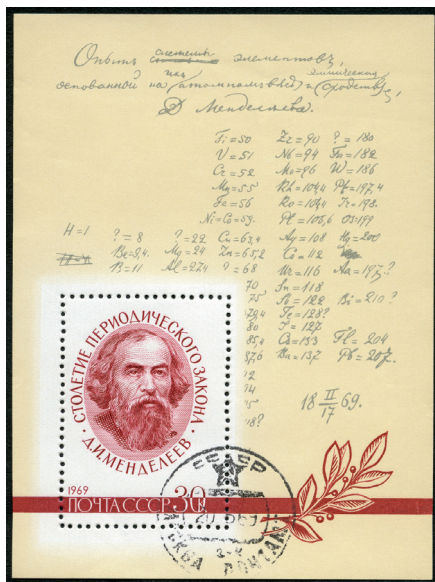
1

DE L'ATOME AUX MOLÉCULES

FICHE 1

LES ÉLÉMENTS ET LES LIAISONS CHIMIQUES

► Les éléments chimiques : classification de Mendeleïev



Une première classification de Dmitri Mendeleïev

$\overset{A}{Z}X$
 Nombre de masse **A** Numéro atomique **Z**
 ↓ ↓
 nombre de nucléons nombre de protons =
 (protons + neutrons) nombre d'électrons car atome neutre

Éléments les plus fréquents en chimie organique

H							He
Li		B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K							Br
							Kr
							I
							Xe
							gaz rares
1	2	3	4	5	6	7	(2) 8
Nombre d'électrons de valence (périphériques)							

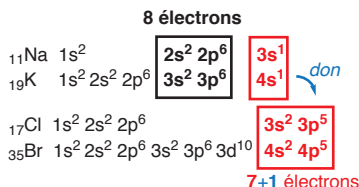
Les électrons d'un élément chimique se répartissent autour du noyau dans des couches. Les plus éloignés du noyau sont appelés **électrons périphériques** ou **électrons de valence**.

► Les liaisons chimiques

Les éléments de numéro atomique $Z > 4$ tendent à acquérir huit électrons (octet : configuration électronique des gaz rares) sur leur couche périphérique pour gagner en stabilité. Pour cela, ils cèdent ou partagent des électrons avec d'autres atomes, donnant lieu à des « **liaisons chimiques** ».

La liaison ionique

La liaison ionique est formée à partir de deux atomes présentant des électronégativités très différentes. Un élément perd ses électrons périphériques pour s'entourer des huit électrons de la couche précédente. Ces électrons sont récupérés par un élément à qui il en manque (exemple : NaCl).



La liaison covalente

Dans la liaison covalente, deux atomes mettent en commun deux électrons. Deux cas sont possibles :
 – chaque atome contribue à la formation de la liaison en fournissant un électron ;
 – un atome fournit deux électrons non liants à la lacune électronique d'un autre atome formant ainsi une liaison covalente de coordination aussi appelée **liaison dative**.

