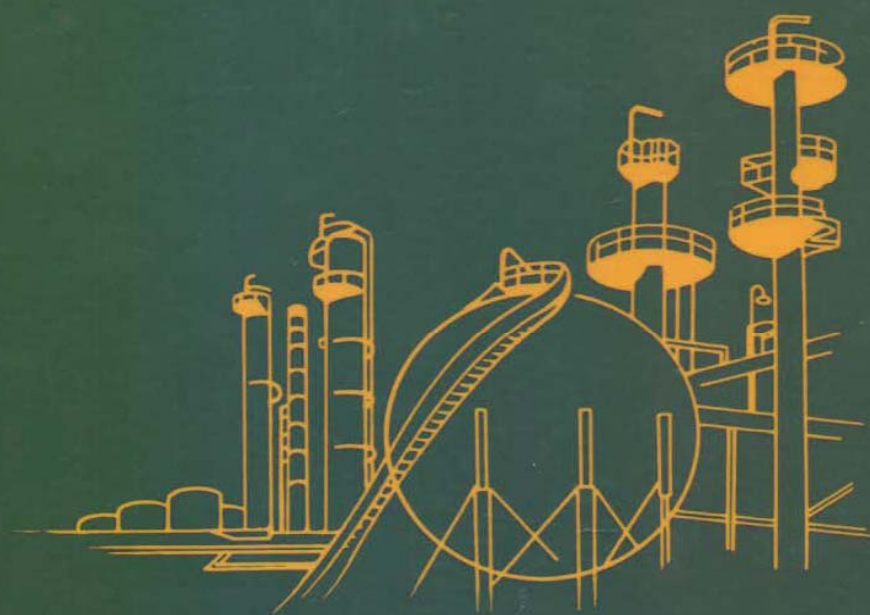


CHIMIE ORGANIQUE INDUSTRIELLE

principaux produits de base
et intermédiaires

K. WEISSERMEL • H.J. ARPE



MASSON

Table des Matières

1.	Considérations sur l'approvisionnement en énergie et en matières premières	1
1.1.	Besoins en énergie actuels et prévisibles	2
1.2.	Disponibilité des diverses sources d'énergie	3
1.2.1.	Pétrole	3
1.2.2.	Gaz naturel	3
1.2.3.	Charbon	4
1.2.4.	Combustibles nucléaires	4
1.3.	Perspectives de l'approvisionnement futur en énergie	6
1.4.	Situation actuelle et prévisible des matières premières	8
1.4.1.	Produits pétrochimiques primaires	8
1.4.2.	Dérivés du charbon	12
2.	Produits de base des synthèses industrielles	15
2.1.	Gaz de synthèse	15
2.1.1.	Production du gaz de synthèse	15
2.1.1.1.	Gaz de synthèse par gazéification du charbon	15
2.1.1.2.	Gaz de synthèse par craquage de gaz naturel et de pétrole	18
2.1.2.	Purification du gaz de synthèse et applications	20
2.2.	Production des composants purifiés du gaz de synthèse	22
2.2.1.	Oxyde de carbone	22
2.2.2.	Hydrogène	24
2.3.	Éléments de synthèse à un carbone	27
2.3.1.	Méthanol	27
2.3.1.1.	Fabrication du méthanol	27
2.3.1.2.	Applications actuelles et potentielles du méthanol	30
2.3.2.	Formaldéhyde	34
2.3.2.1.	Formaldéhyde à partir du méthanol	35
2.3.2.2.	Formaldéhyde à partir d'autres produits	37
2.3.2.3.	Utilisations du formaldéhyde	38
2.3.3.	Acide formique	39
2.3.4.	Acide cyanhydrique	41
2.3.5.	Méthylamines	46
2.3.6.	Dérivés halogénés du méthane	47
2.3.6.1.	Chlorométhanés	47
2.3.6.2.	Fluorochlorométhanés	52
3.	Oléfines	55
3.1.	Évolution historique de la chimie des oléfines	55
3.2.	Oléfines par craquage d'hydrocarbures	55

3.3.	Procédés de fabrication spéciaux des oléfines	59
3.3.1.	Éthylène, propène	59
3.3.2.	Butènes	63
3.3.3.	Oléfines supérieures	68
3.3.3.1.	Oléfines supérieures non ramifiées	68
3.3.3.2.	Oléfines supérieures ramifiées	76
3.4.	Métathèse des oléfines	78
4.	Acétylène	83
4.1.	Importance actuelle de l'acétylène	83
4.2.	Procédés de fabrication de l'acétylène	85
4.2.1.	Obtention à partir de carbure de calcium	85
4.2.2.	Procédés thermiques	86
4.3.	Utilisation de l'acétylène	90
5.	Dioléfines-1,3	95
5.1.	Butadiène-1,3	95
5.1.1.	Synthèses anciennes du butadiène-1,3	95
5.1.2.	Butadiène-1,3 à partir de coupes C ₄	96
5.1.3.	Butadiène-1,3 à partir d'alcane et d'alcènes en C ₄	99
5.1.4.	Applications du butadiène-1,3	101
5.2.	Isoprène	103
5.2.1.	Isoprène à partir de fractions C ₅	104
5.2.2.	Synthèses de l'isoprène	105
5.3.	Chloroprène	108
5.4.	Cyclopentadiène	111
6.	Synthèses à partir d'oxyde de carbone	113
6.1.	Hydroformylation d'oléfines	113
6.1.1.	Bases chimiques de l'hydroformylation	115
6.1.2.	Mise en œuvre industrielle de l'hydroformylation	117
6.1.3.	Variantes catalytiques de l'hydroformylation	120
6.1.4.	Applications des produits oxo	121
6.1.4.1.	Alcools oxo	122
6.1.4.2.	Acides carboxyliques oxo	123
6.1.4.3.	Produits d'aldolisation et de condensation des aldéhydes oxo	124
6.2.	Carbonylation d'oléfines	126
6.3.	Acides carboxyliques par la synthèse de Koch	127
7.	Dérivés oxydés de l'éthylène	131
7.1.	Oxyde d'éthylène	131
7.1.1.	Oxyde d'éthylène par le procédé à la chlorhydrine	132
7.1.2.	Oxyde d'éthylène par oxydation directe	132
7.1.2.1.	Principes chimiques	132
7.1.2.2.	Exploitation du procédé	134
7.1.2.3.	Possibilités de développement de la fabrication d'oxyde d'éthylène	136
7.2.	Dérivés de l'oxyde d'éthylène	137
7.2.1.	Monoéthylèneglycol et éthylèneglycols supérieurs	138
7.2.1.1.	Possibilités d'évolution de la fabrication des éthylèneglycols	139

7.2.1.2.	Utilisation du monoéthylèneglycol	140
7.2.1.3.	Glyoxal, dioxolane, dioxane-1,4	141
7.2.2.	Polyéthoxylats	143
7.2.3.	Éthanolamines et dérivés	143
7.2.4.	Éthers de glycols	146
7.2.5.	Carbonate de glycol-1,2	148
7.3.	Acétaldéhyde	149
7.3.1.	Acétaldéhyde par oxydation de l'éthylène	150
7.3.1.1.	Principes	150
7.3.1.2.	Exploitation du procédé	151
7.3.1.3.	Tendances d'évolution	152
7.3.2.	Acétaldéhyde à partir d'éthanol	153
7.3.3.	Acétaldéhyde par oxydation d'alcane en C ₃ /C ₄	154
7.4.	Dérivés de l'acétaldéhyde	155
7.4.1.	Acide acétique	155
7.4.1.1.	Acide acétique par oxydation de l'acétaldéhyde	156
7.4.1.2.	Acide acétique par oxydation d'alcane et d'alcène	158
7.4.1.3.	Carbonylation du méthanol en acide acétique	161
7.4.1.4.	Possibilités d'évolution de la fabrication d'acide acétique	163
7.4.1.5.	Applications de l'acide acétique	164
7.4.2.	Anhydride acétique et cétène	165
7.4.3.	Aldocondensation de l'acétaldéhyde et dérivés	169
7.4.4.	Acétate d'éthyle	172
7.4.5.	Pyridine et alkylpyridines	173
8.	Alcools	177
8.1.	Alcools inférieurs	177
8.1.1.	Éthanol	177
8.1.2.	Isopropanol	181
8.1.3.	Butanols	185
8.1.4.	Alcools amyliques	188
8.2.	Alcools supérieurs	189
8.2.1.	Oxydation de <i>n</i> -paraffines en alcools	192
8.2.2.	Synthèse Alfol	193
8.3.	Alcools à fonctions multiples	195
8.3.1.	Pentaérythritol	195
8.3.2.	Triméthylolpropane	196
8.3.3.	Néopentylglycol	196
9.	Composés vinyliques halogénés et oxygénés	199
9.1.	Composés vinyliques halogénés	199
9.1.1.	Chlorure de vinyle	199
9.1.1.1.	Chlorure de vinyle à partir d'acétylène	200
9.1.1.2.	Chlorure de vinyle à partir d'éthylène	200
9.1.1.3.	Possibilités d'évolution de la fabrication du chlorure de vinyle	204
9.1.1.4.	Applications du chlorure de vinyle et du dichloro-1,2 éthane	205
9.1.2.	Chlorure de vinylidène	205
9.1.3.	Fluorure de vinyle et fluorure de vinylidène	206
9.1.4.	Trichloro- et tétrachloroéthylène	207

9.1.5.	Tétrafluoroéthylène	209
9.2.	Esters et éthers vinyliques	210
9.2.1.	Acétate de vinyle	210
9.2.1.1.	Acétate de vinyle à partir d'acétylène ou d'acétaldéhyde	210
9.2.1.2.	Acétate de vinyle à partir d'éthylène	211
9.2.2.	Esters vinyliques d'acides carboxyliques supérieurs	215
9.2.3.	Ethers vinyliques	217
10.	Constituants des polyamides	219
10.1.	Acides dicarboxyliques	220
10.1.1.	Acide adipique par le cyclohexanol et la cyclohexanone	221
10.1.2.	Acide dodécanedioïque-1,12	223
10.2.	Diamines et aminoacides	225
10.2.1.	Hexaméthylènediamine	225
10.2.1.1.	Fabrication de l'adiponitrile	226
10.2.1.2.	Hydrogénation de l'adiponitrile	230
10.2.1.3.	Possibilités d'évolution de la fabrication de l'adiponitrile	230
10.2.2.	Acide ω -aminoundécanoïque	231
10.3.	Lactames	232
10.3.1.	Caprolactame	232
10.3.1.1.	ϵ -Caprolactame par oximation de la cyclohexanone	233
10.3.1.2.	Autres procédés de fabrication de l' ϵ -caprolactame	237
10.3.1.3.	Possibilités d'évolution de la fabrication de l' ϵ -caprolactame	239
10.3.1.4.	Utilisation de l' ϵ -caprolactame	241
10.3.2.	Laurylactame	242
11.	Dérivés du propène	245
11.1.	Produits d'oxydation du propène	246
11.1.1.	Oxyde de propylène	246
11.1.1.1.	Oxyde de propylène par le procédé à la chlorhydrine	246
11.1.1.2.	Procédés d'oxydation indirects	247
11.1.1.3.	Possibilités d'évolution de la fabrication de l'oxyde de propylène	252
11.1.2.	Dérivés de l'oxyde de propylène	254
11.1.3.	Acétone	255
11.1.3.1.	Oxydation directe du propène	256
11.1.3.2.	Acétone à partir de l'isopropanol	257
11.1.4.	Dérivés de l'acétone	258
11.1.4.1.	Aldolisation de l'acétone et dérivés	258
11.1.4.2.	Acide et esters méthacryliques	260
11.1.5.	Acroléine	263
11.1.6.	Dérivés de l'acroléine	264
11.1.7.	Acide acrylique et acrylates	266
11.1.7.1.	Fabrication classique de l'acide acrylique	266
11.1.7.2.	Acide acrylique à partir de propène	268
11.1.7.3.	Possibilités d'évolution de la fabrication de l'acide acrylique	270
11.2.	Composés allyliques et dérivés	271
11.2.1.	Chlorure d'allyle	271
11.2.2.	Alcool et esters allyliques	273
11.2.3.	Glycérine à partir de composés allyliques	275

11.3.	Acrylonitrile	278
11.3.1.	Fabrication traditionnelle de l'acrylonitrile	279
11.3.2.	Amoxydation du propène	280
11.3.2.1.	Procédé Sohio pour l'acrylonitrile	281
11.3.2.2.	Autres procédés d'amoxydation du propène (et du propane)	282
11.3.3.	Utilisation et dérivés de l'acrylonitrile	284
12.	Aromatiques, production et transformation	287
12.1.	Importance des aromatiques	287
12.2.	Sources de matières premières pour les aromatiques	288
12.2.1.	Aromatiques par cokéfaction de la houille	289
12.2.2.	Aromatiques issus de l'essence de réformage ou de l'essence de pyrolyse	290
12.2.2.1.	Isolation des aromatiques	293
12.2.2.2.	Procédés spéciaux de fractionnement des mélanges d'aromatiques	294
12.2.3.	Aromatiques à noyaux condensés	299
12.2.3.1.	Naphtalène	299
12.2.3.2.	Anthracène	301
12.3.	Procédés de conversion des aromatiques	303
12.3.1.	Hydrodésalkylation	303
12.3.2.	Isomérisation du <i>m</i> -xylène	305
12.3.3.	Dismutation et transalkylation	306
13.	Dérivés du benzène	309
13.1.	Produits d'alkylation et d'hydrogénation du benzène	310
13.1.1.	Éthylbenzène	310
13.1.2.	Styrène	312
13.1.3.	Cumène	315
13.1.4.	Alkylbenzènes supérieurs	317
13.1.5.	Cyclohexane	318
13.2.	Produits d'oxydation du benzène et leurs dérivés	320
13.2.1.	Phénol	320
13.2.1.1.	Procédés de fabrication du phénol	321
13.2.1.2.	Possibilités d'évolution de la fabrication du phénol	328
13.2.1.3.	Applications du phénol et de ses dérivés	332
13.2.2.	Dihydroxybenzènes	336
13.2.3.	Anhydride maléique	340
13.2.3.1.	Anhydride maléique par oxydation du benzène	340
13.2.3.2.	Anhydride maléique par oxydation du butène	341
13.2.3.3.	Possibilités d'évolution de la fabrication de l'anhydride maléique	343
13.2.3.4.	Applications et dérivés de l'anhydride maléique	344
13.3.	Autres dérivés du benzène	346
13.3.1.	Nitrobenzène	346
13.3.2.	Aniline	347
13.3.3.	Diisocyanates	350
14.	Dérivés oxydés des xylènes et du naphtalène	357
14.1.	Anhydride phtalique	357
14.1.1.	Oxydation du naphtalène en anhydride phtalique	357
14.1.2.	Oxydation de l'orthoxylène en anhydride phtalique	359

14.1.3.	Phtalates	361
14.2.	Acide téréphtalique	364
14.3.	Fabrication du téréphtalate de diméthyle et de l'acide téréphtalique	365
14.3.1.	Téréphtalate de diméthyle	365
14.3.2.	Acide téréphtalique de haute pureté pour fibres	367
14.3.3.	Autres méthodes de fabrication de l'acide téréphtalique	369
14.4.	Applications de l'acide téréphtalique et du téréphtalate de diméthyle	372
15.	Annexes	377
15.1.	Schémas de procédés et flux des produits	377
15.2.	Terminologie chimique	397
15.3.	Abréviations des noms des Sociétés	399
15.4.	Sources d'information	399
15.4.1.	Littérature générale	400
15.4.2.	Littérature spécialisée	401
	Index alphabétique	411