

CHIMIE ORGANIQUE INDUSTRIELLE

• WEISSERMEL • ARPE •

Traduction de la 3^e édition anglaise
par Philippe Kalck et Brigitte Zahner

De Boeck  Université

Table des matières

1.	Considérations sur l'approvisionnement en énergie et en matières premières	1
1.1.	Besoins actuels et prévisibles en énergie	2
1.2.	Disponibilité des diverses ressources	3
1.2.1.	Pétrole	3
1.2.2.	Gaz naturel	4
1.2.3.	Charbon	5
1.2.4.	Combustibles nucléaires	5
1.3.	Perspectives de l'approvisionnement en énergie	7
1.4.	Situation actuelle et prévisible des matières premières	8
1.4.1.	Produits primaires de la pétrochimie	8
1.4.2.	Produits issus de la conversion du charbon	11
2.	Produits de base de l'industrie chimique	13
2.1.	Gaz de synthèse	13
2.1.1.	Production du gaz de synthèse	13
2.1.1.1.	Gaz de synthèse par gazéification du charbon	14
2.1.1.2.	Gaz de synthèse par craquage du gaz naturel et du pétrole	17
2.1.2.	Purification et utilisation du gaz de synthèse	19
2.2.	Production de CO et H ₂ purs	22
2.2.1.	Monoxyde de carbone	22
2.2.2.	Hydrogène	24
2.3.	Composés en C ₁	28
2.3.1.	Méthanol	28
2.3.1.1.	Production du méthanol	28
2.3.1.2.	Applications actuelles et potentielles du méthanol	31
2.3.2.	Formaldéhyde	36
2.3.2.1.	Formaldéhyde à partir du méthanol	37
2.3.2.2.	Utilisations actuelles et potentielles du formaldéhyde	40
2.3.3.	Acide formique	42
2.3.4.	Acide cyanhydrique	46
2.3.5.	Méthylamines	51
2.3.6.	Dérivés halogénés du méthane	53
2.3.6.1.	Chlorométhanés	53
2.3.6.2.	Chlorofluorométhanés	58

3.	Oléfines	63
3.1.	Historique du développement des oléfines	63
3.2.	Oléfines produites par craquage des hydrocarbures	64
3.3.	Procédés dédiés à la production d'oléfines	67
3.3.1.	Éthylène, propène	67
3.3.2.	Butènes	71
3.3.3.	Oléfines supérieures	79
3.3.3.1.	Oléfines lourdes linéaires	80
3.3.3.2.	Oléfines supérieures ramifiées	88
3.4.	Métathèse des oléfines	91
4.	Acétylène	95
4.1.	Importance actuelle de l'acétylène	95
4.2.	Procédés de synthèse de l'acétylène	97
4.2.1.	Production à partir du carbure de calcium	97
4.2.2.	Procédés thermiques	98
4.3.	Utilisations de l'acétylène	103
5.	1,3-Diènes	111
5.1.	Buta-1,3-diène	111
5.1.1.	Synthèses classiques du buta-1,3-diène	112
5.1.2.	Buta-1,3-diène issu de la coupe C ₄	113
5.1.3.	Buta-1,3-diène à partir des alcanes et alcènes C ₄	115
5.1.4.	Utilisations du butadiène	118
5.2.	Isoprène	121
5.2.1.	Isoprène des coupes C ₅	121
5.2.2.	Isoprène par voie de synthèse	122
5.3.	Chloroprène	126
5.4.	Cyclopentadiène	129
6.	Synthèses impliquant le monoxyde de carbone	131
6.1.	Hydroformylation des oléfines	131
6.1.1.	Mécanisme de base de la réaction d'hydroformylation	132
6.1.2.	Mise en œuvre industrielle de l'hydroformylation	135
6.1.3.	Modifications successives des catalyseurs d'hydroformylation	138
6.1.4.	Utilisations des produits 'oxo'	139
6.1.4.1.	Alcools 'oxo'	140
6.1.4.2.	Acides carboxyliques 'oxo'	142
6.1.4.3.	Produits d'aldolisation et de condensation des aldéhydes 'oxo'	143
6.2.	Carbonylation des oléfines	145
6.3.	Synthèses de Koch des acides carboxyliques	147

7.	Produits d'oxydation de l'éthylène	151
7.1.	Oxyde d'éthylène	151
7.1.1.	Oxyde d'éthylène par la voie chlorhydrine	152
7.1.2.	Oxyde d'éthylène par oxydation directe	152
7.1.2.1.	Mécanisme de la réaction	152
7.1.2.2.	Mise en œuvre industrielle	154
7.1.2.3.	Procédés potentiels dans la fabrication de l'oxyde d'éthylène	156
7.2.	Produits dérivés de l'oxyde d'éthylène	157
7.2.1.	Éthylèneglycol et termes supérieurs	159
7.2.1.1.	Procédés potentiels dans la fabrication de l'éthylèneglycol	160
7.2.1.2.	Utilisations de l'éthylèneglycol	162
7.2.1.3.	Glyoxal, dioxolane et 1,4-dioxane	163
7.2.2.	Polyéthoxylats	165
7.2.3.	Éthanolamines et produits dérivés	166
7.2.4.	Éthers de l'éthylèneglycol	169
7.2.5.	Autres produits issus de l'oxyde d'éthylène	172
7.3.	Acétaldéhyde	173
7.3.1.	Acétaldéhyde par oxydation de l'éthylène	174
7.3.1.1.	Équations chimiques	174
7.3.1.2.	Procédé industriel	176
7.3.2.	Acétaldéhyde à partir d'éthanol	177
7.3.3.	Acétaldéhyde par oxydation des alcanes C ₃ /C ₄	178
7.4.	Produits dérivés de l'acétaldéhyde	179
7.4.1.	Acide acétique	180
7.4.1.1.	Acide acétique par oxydation de l'acétaldéhyde	181
7.4.1.2.	Acide acétique par oxydation des alcanes et des alcènes	182
7.4.1.3.	Carbonylation du méthanol en acide acétique	185
7.4.1.4.	Développements potentiels dans la synthèse de l'acide acétique	187
7.4.1.5.	Utilisations de l'acide acétique	188
7.4.2.	Anhydride acétique et cétène	190
7.4.3.	Condensation aldolique de l'acétaldéhyde et produits dérivés	194
7.4.4.	Acétate d'éthyle	196
7.4.5.	Pyridine et alkyldéridines	198
8.	Alcools	201
8.1.	Alcools inférieurs	201
8.1.1.	Éthanol	201
8.1.2.	Isopropanol	206
8.1.3.	Butanols	209
8.1.4.	Alcools amyliques	213
8.2.	Alcools supérieurs	213
8.2.1.	Oxydation des paraffines en alcools	217

8.2.2.	Procédé Alfol	218
8.3.	Polyols	220
8.3.1.	Pentaérythritol	220
8.3.2.	Triméthylolpropane	221
8.3.3.	Néopentylglycol	222
9.	Composés vinyliques halogénés ou oxygénés	225
9.1.	Composés vinyliques halogénés	225
9.1.1.	Chlorure de vinyle	225
9.1.1.1.	Chlorure de vinyle à partir de l'acétylène	226
9.1.1.2.	Chlorure de vinyle à partir de l'éthylène	227
9.1.1.3.	Possibilités de développement dans la production de chlorure de vinyle	230
9.1.1.4.	Utilisations du chlorure de vinyle et du 1,2-dichloroéthane	231
9.1.2.	Chlorure de vinylidène	233
9.1.3.	Fluorures de vinyle et de vinylidène	233
9.1.4.	Trichloro- et tétrachloroéthylène	235
9.1.5.	Tétrafluoroéthylène	237
9.2.	Esters et éthers vinyliques	238
9.2.1.	Acétate de vinyle	238
9.2.1.1.	Acétate de vinyle à partir d'acétylène ou d'acétaldéhyde	238
9.2.1.2.	Acétate de vinyle à partir d'éthylène	240
9.2.1.3.	Possibilités de développement dans la production d'acétate de vinyle	243
9.2.2.	Esters vinyliques d'acides carboxyliques supérieurs	244
9.2.3.	Éthers vinyliques	245
10.	Constituants des polyamides	247
10.1.	Acides dicarboxyliques	248
10.1.1.	Acide adipique	249
10.1.2.	Acide dodécanedioïque	253
10.2.	Diamines et acides aminocarboxyliques	254
10.2.1.	Hexane-1,6-diamine	254
10.2.1.1.	Fabrication de l'adiponitrile	255
10.2.1.2.	Hydrogénation de l'adiponitrile	259
10.2.1.3.	Possibilités de développement dans la production d'adiponitrile	260
10.2.2.	Acide 11-aminoundécanoïque	260
10.3.	Lactames	261
10.3.1.	ϵ -caprolactame	261
10.3.1.1.	ϵ -caprolactame par la voie oxime de la cyclohexanone	262
10.3.1.2.	Autres procédés de fabrication de l' ϵ -caprolactame	266
10.3.1.3.	Possibilités de développement dans la production de l' ϵ -caprolactame	269
10.3.1.4.	Utilisation de l' ϵ -caprolactame	270
10.3.2.	Laurylactame	272

11	Produits dérivés du propène	275
11.1	Produits d'oxydation du propène	276
11.1.1	Oxyde de propylène	276
11.1.1.1	Oxyde de propylène par la voie chlorhydrique	276
11.1.2	Procédés d'oxydation indirecte	277
11.1.3	Possibilités de développement dans la fabrication du 1,2-époxypropane	281
11.2	Produits dérivés du 1,2-époxypropane	285
11.3	Acétone	287
11.3.1	Oxydation directe du propène	287
11.3.2	Acétone à partir du propan-2-ol	288
11.4	Produits dérivés de l'acétone	290
11.4.1	Aldolisation de l'acétone et produits dérivés	290
11.4.2	Acide méthacrylique et esters	292
11.5	Acroléine	296
11.6	Produits issus de l'acroléine	298
11.7	Acide acrylique et esters	300
11.7.1	Fabrication classique de l'acide acrylique	301
11.7.2	Acide acrylique à partir du propène	302
11.7.3	Développements attendus dans la fabrication de l'acide acrylique	305
11.8	Composés allyliques et produits dérivés	305
11.8.1	Chlorure d'allyle	306
11.8.2	Alcool allylique et esters	308
11.8.3	Glycérol à partir de précurseurs allyliques	311
11.9	Acrylonitrile	314
11.9.1	Fabrication classique de l'acrylonitrile	314
11.9.2	Ammonoxydation du propène	316
11.9.2.1	Procédé Sohio d'acrylonitrile	317
11.9.2.2	Autres procédés d'ammonoxydation du propène ou du propane	318
11.9.3	Développements attendus de la fabrication de l'acrylonitrile	319
11.9.4	Utilisations et produits dérivés de l'acrylonitrile	319
12	Composés aromatiques – Production et transformations	323
12.1	Importance des composés aromatiques	323
12.2	Sources de matières premières des composés aromatiques	324
12.2.1	Composés aromatiques par cokéfaction de la houille	325
12.2.2	Composés aromatiques issus du reformage et de la pyrolyse des essences	326
12.2.2.1	Séparation des composés aromatiques	329
12.2.2.2	Techniques spécifiques de fractionnement des composés non-aromatiques/aromatiques et des mélanges de composés aromatiques	330
12.2.3	Possibilités de développement dans la production de composés aromatiques	335
12.2.4	Produits aromatiques condensés	336
12.2.4.1	Naphtalène	337

12.2.4.2.	Anthracène	338
12.3.	Procédés de transformation des composés aromatiques	341
12.3.1.	Hydrodésalkylation	341
12.3.2.	Isomérisation du <i>m</i> -xylène	343
12.3.3.	Dismutation et transalkylation	345
13.	Dérivés du benzène	347
13.1.	Produits d'alkylation et d'hydrogénation du benzène	347
13.1.1.	Éthylbenzène	347
13.1.2.	Styrène	351
13.1.3.	Cumène	351
13.1.4.	Alkylbenzènes supérieurs	355
13.1.5.	Cyclohexane	357
13.2.	Produits d'oxydation et produits issus du benzène	358
13.2.1.	Phénol	358
13.2.1.1.	Procédés de fabrication du phénol	359
13.2.1.2.	Développements possibles dans la fabrication du phénol	367
13.2.1.3.	Utilisations et produits issus du phénol	369
13.2.2.	Dihydroxybenzènes	373
13.2.3.	Anhydride maléique	377
13.2.3.1.	Anhydride maléique par oxydation du benzène	378
13.2.3.2.	Anhydride maléique par oxydation du butène	379
13.2.3.3.	Anhydride maléique par oxydation du butane	381
13.2.3.4.	Utilisations et produits issus de l'anhydride maléique	382
13.3.	Autres dérivés du benzène	385
13.3.1.	Nitrobenzène	385
13.3.2.	Aniline	386
13.3.3.	Diisocyanates	389
14.	Produits d'oxydation du xylène et du naphthalène	395
14.1.	Anhydride phtalique	395
14.1.1.	Oxydation du naphthalène en anhydride phtalique	395
14.1.2.	Oxydation du <i>o</i> -xylène en anhydride phtalique	397
14.1.3.	Esters de l'acide phtalique	399
14.2.	Acide téréphtalique	402
14.2.1.	Production du téréphtalate de diméthyle et de l'acide téréphtalique	403
14.2.2.	Acide téréphtalique de qualité fibre	405
14.2.3.	Autres voies d'accès à l'acide téréphtalique et à ses dérivés	407
14.2.4.	Applications de l'acide téréphtalique et du téréphtalate de diméthyle	410
	Bibliographie	415
	Index	423
	Annexes	