



Henri Fauduet

Mécanique des fluides & des solides appliquée à la chimie

Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

Table des matières

Sigles et abréviations	3
Avant-propos	9
Préambule	2
1. La diffusion de matière unidirectionnelle : loi de Fick	2
2. Le diffusion thermique unidirectionnelle : loi de Fourier	3
3. Diffusion de la quantité de mouvement unidirectionnelle : loi de Newton ..	4

Première partie

Mécanique des fluides

Chapitre 1

Propriétés des fluides

1. Généralités sur les fluides	11
1.1. Notions générales	11
1.2. Fluide parfait et fluide réel	12
1.3. Fluide incompressible	13
1.4. Fluide compressible	14
1.4.1. Fluide compressible parfait	14
1.4.2. Fluide compressible réel	15
2. Grandeurs mécaniques	17
2.1. Débits	18
2.1.1. Débit volumique	18
2.1.2. Débit massique	19
2.1.3. Débit massique surfacique	19

2.2. Masse volumique et densité	19
2.2.1. Masse volumique	19
2.2.2. Densité	20
2.2.3. Mesure de la masse volumique et de la densité	21
2.3. Coefficients de compressibilité et de dilatation	23
2.3.1. Coefficient de compressibilité isotherme	23
2.3.2. Coefficient de dilatation volumique isobare	25
2.3.3. Coefficient de compressibilité isochore	27
2.4. Viscosité	28
2.4.1. Description du phénomène	28
2.4.2. Viscosité dynamique	29
2.4.3. Viscosité cinématique	31
2.4.4. Facteurs influençant la viscosité	32
2.4.5. Viscosité des liquides	34
2.4.6. Viscosité des gaz	35
2.4.7. Détermination expérimentale de la viscosité	35
2.4.8. Notions de rhéologie	40
2.5. Pression de vapeur (tension de vapeur)	43
2.6. Tension superficielle	45
2.6.1. Description de phénomène	45
2.6.2. Effets sur une surface solide	46
2.6.3. Facteurs influents	48
2.6.4. Détermination de la tension superficielle	48
2.7. Diffusivité	50
3. Grandeurs thermiques	52
3.1. Capacité thermique	52
3.2. Conductivité thermique	54
3.2.1. Conductivité thermique des gaz	54
3.2.2. Conductivité thermique des liquides	55
3.2.3. Influence de la température et de la pression sur la conductivité thermique	56

Chapitre 2

Statique des fluides

1. Lois fondamentales de la statique	58
1.1. Pression	58
1.1.1. Définition de la pression	58
1.1.2. Divers types de pression	59
1.2. Équation fondamentale	60
1.3. Principe de Pascal	61
1.3.1. Principe fondamental de l'hydrostatique	61
1.3.2. Applications	62
1.4. Principe d'Archimède	64
1.5. Statique des fluides compressibles	65
2. Mesure des pressions	66
2.1. Notions générales	66
2.2. Manomètres	67
2.2.1. Manomètres à liquide	68

2.2.2. Manomètres à cloche	70
2.2.3. Manomètres à déformation	71
3. Mesure des niveaux	73
3.1. Mesure directe du niveau	73
3.2. Mesure de la pression hydrostatique	73
3.3. Mesure de la poussée d'Archimède	74
3.4. Mesure de la pression de bulle	74
3.5. Mesure de la résistance ou de la capacitance d'un fluide	74
3.6. Mesure par réflexion d'onde	75
4. Stockage des fluides	75
4.1. Stockage des liquides	75
4.2. Stockage des gaz	75

Chapitre 3

Dynamique des fluides incompressibles

1. Régimes d'écoulement des fluides	77
1.1. Divers types d'écoulement dans les conduites circulaires	78
1.1.1. Expériences de Reynolds	78
1.1.2. Nombre de Reynolds	79
1.2. Écoulement laminaire	79
1.3. Écoulement turbulent	80
1.4. Écoulement intermédiaire	80
1.5. Cas particuliers	81
1.5.1. Conduites non circulaires	81
1.5.2. Influence des parois	82
2. Lois fondamentales du déplacement des fluides	82
2.1. Introduction	83
2.2. Principe de la conservation de la matière	84
2.2.1. Écoulement dans une conduite rectiligne	84
2.2.2. Embranchements de conduites	85
2.3. Principe de la conservation de la quantité de mouvement	85
2.4. Principe de la conservation de l'énergie	86
2.4.1. Diverses catégories d'énergie	86
2.4.2. Formules énergétiques du mouvement des fluides stationnaires	88
2.5. Écoulements particuliers	94
2.5.1. Écoulement d'un liquide sous l'influence de son poids	94
2.5.2. Mesure des pressions dans un fluide en écoulement	96
2.5.3. Écoulement en milieu poreux	97
2.5.4. Écoulement de type vortex	97
3. Détermination des pertes de charge	98
3.1. Pertes de charge linéaires	100
3.1.1. Canalisation circulaire lisse	100
3.1.2. Canalisation circulaire rugueuse	102
3.1.3. Canalisation non circulaire	105
3.2. Pertes de charge singulières	105
3.2.1. Calcul à partir de formules	105
3.2.2. Calcul à partir des longueurs équivalentes	112

4. Mesure des débits	116
4.1. Mesure de la vitesse d'écoulement	116
4.1.1. Tube de Pitot	117
4.1.2. Anémomètres et compteurs	119
4.1.3. Autres systèmes de mesure	120
4.2. Mesure de la perte de charge par étranglement	120
4.2.1. Venturi	120
4.2.2. Diaphragme	122
4.2.3. Tuyère	123
4.3. Rotamètre ou flotteur	124
4.4. Autres types d'appareils de mesure	127
4.4.1. Débitmètres à ultrasons	127
4.4.2. Débitmètres électromagnétiques	127
4.4.3. Méthodes par dilution	128
4.4.4. Débitmètre à effet vortex	128
4.4.5. Débitmètre massique	129

Chapitre 4

Dynamique des fluides compressibles

1. Généralités sur les fluides compressibles	131
1.1. Différences entre un gaz et une vapeur	131
1.2. Divers types de processus	133
1.2.1. Processus isotherme	133
1.2.2. Processus adiabatique réversible	134
1.2.3. Processus polytropiques réversibles non adiabatiques	136
1.2.4. Processus polytropiques irréversibles	137
2. Écoulement des gaz	137
2.1. Principe de continuité	138
2.2. Théorème de Bernoulli	139
2.2.1. Écoulement à masse volumique constante	139
2.2.2. Écoulement à masse volumique variable	139
2.3. Pertes de charge	140
2.3.1. Écoulement isotherme	142
2.3.2. Écoulement adiabatique isentropique	143
2.3.3. Écoulement polytropique	144
3. Compression des gaz	145
3.1. Divers modes de compression	145
3.1.1. Échauffement d'un volume constant de gaz	145
3.1.2. Diminution du volume d'un gaz	145
3.2. Étude d'un compresseur alternatif	146
3.2.1. Cycle de compression	146
3.2.2. Compression isotherme	148
3.2.3. Compression adiabatique	149
3.2.4. Compression polytropique	151
3.2.5. Compressions irréversibles	152
4. Étude du vide	152
4.1. Divers types d'écoulement	153
4.1.1. Régime visqueux	154

4.1.2. Régime moléculaire	154
4.1.3. Régime intermédiaire	154
4.2. Caractéristiques d'une pompe à vide	155
4.2.1. Débit d'une pompe à vide	155
4.2.2. Vitesse et puissance de pompage	156
4.2.3. Temps de pompage	156
4.3. Conductance d'une canalisation	156
4.3.1. Définitions	157
4.3.2. Écoulement dans une conduite	158
4.3.3. Débit d'aspiration effectif	158
4.3.4. Expression de la conductance	159
4.3.5. Expression de la conductance dans le cas de l'air	159
4.3.6. Expression de la conductance dans le cas de la vapeur d'eau	160

Chapitre 5

Mécanique des machines hydrauliques

1. Canalisations et robinetterie	162
1.1. Canalisations	162
1.1.1. Raccords	163
1.1.2. Manchons	164
1.1.3. Brides	164
1.2. Robinetterie	165
1.2.1. Classification des appareils d'obturation	165
1.2.2. Description des robinets	168
1.2.3. Clapets de retenue	169
1.2.4. Soupapes de sûreté	169
1.2.5. Détendeurs de pression	169
1.3. Étanchéité	170
1.3.1. Presse-étoupe	170
1.3.2. Garnitures mécaniques	170
2. Notions théoriques sur les pompes à liquide	171
2.1. Définitions	171
2.1.1. Aspiration	171
2.1.2. Charge	171
2.1.3. Amorçage	171
2.2. Caractéristiques des pompes centrifuges	172
2.2.1. Débit volumique	172
2.2.2. Puissance d'une pompe	172
2.2.3. Rendement d'une pompe	173
2.2.4. Pression (ou hauteur) de refoulement	173
2.2.5. Hauteur manométrique totale	174
2.2.6. Hauteur limite d'aspiration	175
2.3. Courbes caractéristiques	177
2.4. Cavitation	177
2.4.1. NPSH requis	179
2.4.2. NPSH disponible	181
2.5. Adaptation d'une pompe centrifuge à un circuit	182
2.5.1. Courbe de réseau	182

2.5.2. Point de fonctionnement d'une pompe centrifuge	183
2.5.3. Adaptation d'une pompe à un débit	183
2.5.4. Couplage de pompes centrifuges	184
Pompes de circulation	186
3.1. Pompes volumétriques	188
3.1.1. Pompes alternatives	188
3.1.2. Pompes rotatives	192
3.2. Turbopompes	197
3.2.1. Pompes centrifuges	197
3.2.2. Autres types de turbopompes	200
4. Ventilateurs et compresseurs	202
4.1. Ventilateurs et soufflantes	203
4.1.1. Ventilateurs axiaux	203
4.1.2. Ventilateurs centrifuges	204
4.2. Compresseurs	204
4.2.1. Compresseurs alternatifs	208
4.2.2. Compresseurs à effet dynamique	209
4.2.3. Compresseurs rotatifs	211
4.2.4. Éjecteur à vapeur	211
5. Pompes à vide	213
5.1. Pompes mécaniques	213
5.1.1. Pompes alternatives	213
5.1.2. Pompes rotatives	215
5.2. Pompes hydrodynamiques	215
5.2.1. Éjecteur à vapeur	216
5.2.2. Pompe à diffusion	217
5.3. Pompes à fixation	217
5.3.1. Pompes turbomoléculaires	217
5.3.2. Pompes cryogéniques	217
5.3.3. Pompes ioniques	218
6. Précautions d'emploi des pompes et des compresseurs	218

Deuxième partie

Mécanique des solides

Chapitre 6

Propriétés des solides

1. Caractéristiques physiques des particules	224
1.1. Relations entre la masse, la surface et le volume des particules	224
1.1.1. Masse volumique	224
1.1.2. Volume massique	226
1.1.3. Densité relative	226
1.1.4. Surface spécifique	227
1.2. Relations entre la taille et la forme des particules	228
1.2.1. Méthodes de mesure des dimensions	229
1.2.2. Morphologie	232

1.3. Caractérisation de la structure poreuse	234
1.3.1. Texture	234
1.3.2. Porosité	234
1.4. Caractéristiques particulières des solides	236
1.4.1. Caractéristiques mécaniques	236
1.4.2. Tension superficielle	238
1.4.3. Caractéristiques électrostatiques	240
1.4.4. Caractéristiques magnétiques	242
1.4.5. Caractéristiques thermiques	243
2. Caractéristiques des lits de particules	243
2.1. Coulabilité	244
2.1.1. Indice de coulabilité	244
2.1.2. Mesure de la compressibilité	245
2.1.3. Mesure de l'angle de talus	246
2.2. Propriétés relatives aux vides interparticulaires	247
2.2.1. Compacité	247
2.2.2. Compression	247
2.2.3. Perméabilité	249
2.2.4. Effet capillaire	249
2.3. Fluidisabilité	251
2.4. Propriétés relatives au stockage	252
2.4.1. Adhésion	252
2.4.2. Cohésion	252
2.4.3. Mottage	252
3. Caractéristiques des agglomérats de particules	252
3.1. Masse volumique et porosité	253
3.2. Propriétés mécaniques	253
3.2.1. Rigidité	254
3.2.2. Solidité	255
3.2.3. Autres propriétés	255

Chapitre 7

Triage des solides

1. Procédés par voie directe	258
1.1. Séparation des particules selon leur nature	258
1.1.1. Séparation magnétique	258
1.1.2. Séparation électrostatique	264
1.1.3. Séparation optique	266
1.2. Séparation des particules selon la taille	267
1.2.1. Généralités et définitions	267
1.2.2. Granulométrie des particules solides	269
1.2.3. Mouvement des particules	272
1.2.4. Influence des caractéristiques des particules et de la surface tamisante sur les performances du crible	273
1.2.5. Caractéristiques des surfaces de criblage	277
1.2.6. Tamisage industriel	279
2. Procédés par voie indirecte	285
2.1. Séparation des particules suivant leur taille	287

2.1.1. Étude du mouvement d'un solide dans un fluide immobile	287
2.1.2. Principe de la séparation hydraulique	292
2.1.3. Classificateurs hydrauliques	293
2.1.4. Classement pneumatique	297
2.2. Séparation des particules suivant leur nature	301
2.2.1. Séparations magnétique et électrique	301
2.2.2. Séparation gravimétrique	301
2.2.3. Flottation	308

Chapitre 8

Fragmentation des solides

1. Généralités	317
1.1. Définitions	317
1.2. Désagrégation des solides	318
2. Théorie de la fragmentation	319
2.1. Divers modes de broyage	319
2.2. Critères d'évaluation de la fragmentation	320
2.2.1. Taux de réduction	321
2.2.2. Efficacité du broyage	321
2.3. Facteurs influents de la fragmentation	322
2.3.1. Dureté	322
2.3.2. Friabilité	322
2.3.3. Granulométrie	322
2.3.4. Taux d'humidité	322
2.3.5. Température	322
2.3.6. Adjuvants	323
2.4. Évaluation de la fragmentation	323
2.4.1. Lois d'aptitude à la fragmentation	323
2.4.2. Lois énergétiques de la fragmentation	324
3. Appareillage	326
3.1. Choix de l'opération et des appareils	326
3.2. Concasseurs	327
3.2.1. Concasseurs à mâchoires	329
3.2.2. Concasseurs giratoires et à cône	329
3.2.3. Concasseurs à cylindres	330
3.2.4. Concasseurs à marteaux	331
3.3. Broyeurs	331
3.3.1. Le broyeur à boulets	333
3.3.2. Broyeurs à barres	336
3.3.3. Broyeurs autogènes	336
3.3.4. Broyeurs à meules ou à rouleaux	337
3.3.5. Broyeurs à disques	339
3.3.6. Broyeurs rotatifs à percussion	339
3.4. Broyeurs pour fragmentation ultrafine	340
3.4.1. Broyeurs à rotor et à stator	340
3.4.2. Broyeurs à corps broyants	340
3.4.3. Superbroyeurs	340
3.5. Désintégrateurs	341

Chapitre 9

Manipulation des solides

1. Introduction	343
2. Stockage des solides	344
2.1. Caractéristiques des solides stockés	344
2.1.1. Appareils à déchargement en masse	344
2.1.2. Appareils à déchargement à entonnoir	345
2.1.3. Choix des matériaux pour l'écoulement	345
2.2. Divers modes de stockage	346
2.2.1. Stockage en tas à l'extérieur	346
2.2.2. Stockage en magasin	347
2.2.3. Trémies	347
2.2.4. Silos	347
3. Manutention des solides	347
3.1. Transport discontinu en l'état	348
3.1.1. Manutention à bras	348
3.1.2. Chariots motorisés	348
3.1.3. Appareils de levage	348
3.2. Transport continu en l'état	350
3.2.1. Chargement porté par l'appareil	350
3.2.2. Chargement déplacé sur appareil fixe	351
3.3. Transport continu avec fluide intermédiaire	354
3.3.1. Transport hydraulique	354
3.3.2. Transport pneumatique	354
3.4. Transports particuliers	356
3.4.1. Transporteurs à rouleaux	356
3.4.2. Glissières	356
3.4.3. Convoyeurs à balancelles	356
4. Distributions des solides	357
4.1. Distributeur à porte basculante	357
4.2. Distributeur à piston	358
4.3. Distributeur à secousses	358
4.4. Distributeur à vis d'Archimède	358
4.5. Distributeur à courroie	358
4.6. Distributeur à cylindre	358
4.7. Distributeur vibrant	358
4.8. Distributeur à sole tournante	359

Troisième partie

Exercices d'application

Chapitre 10

Propriétés des fluides

1. Masse volumique et densité.....	363
2. Propriétés des gaz.....	368
3. Coefficient de dilatation	372
4. Viscosité.....	374
5. Tension de vapeur.....	375
6. Tension superficielle.....	380
7. Diffusivité	380
8. Grandeurs thermiques	

Chapitre 11

Statique des fluides

1. Détermination des pressions	383
2. Principe de Pascal	385
3. Statique des fluides compressibles	396
4. Principe d'Archimède	397

Chapitre 12

Dynamique des fluides incompressibles

1. Régimes d'écoulement.....	405
2. Principe de continuité	408
3. Théorème de Bernoulli.....	412
4. Théorème de Torricelli	415
5. Pertes de charge	418
6. Mesure des débits.....	429
7. Exercices de synthèse sur les fluides incompressibles.....	437

Chapitre 13

Dynamique des fluides compressibles

1. Types d'écoulement	449
2. Écoulement isotherme	453
3. Compression adiabatique.....	460
4. Vide	468

Chapitre 14

Mécanique des machines hydrauliques

1. Déplacement des fluides	475
2. Cavitation	498

Chapitre 15

Mécanique des solides

1. Propriétés des solides	509
2. Tamisage	516
3. Sédimentation	519
4. Classement gravimétrique	524
5. Broyage	536

Quatrième partie

Expérimentation

Chapitre 16

Détermination des pertes de charge

1. Rappels théoriques sur les pertes de charge	545
1.1. Détermination des pertes de charge	545
1.1.1. Perte de charge linéaire	546
1.1.2. Perte de charge singulière	546
1.2. Mesure des débits	547
1.2.1. Mesure de la perte de charge par étranglement	547
1.2.2. Rotamètre	547
2. Matériels et expérimentation	547
2.1. Description du banc d'essais	547
2.2. Étude des pertes de charge régulières	550
2.2.1. Procédure de marche	550
2.2.2. Étude des canalisations lisse ou rugueuse	552
2.3. Études des pertes de charge singulières	552
2.3.1. Étude des changements de direction	552
2.3.2. Étude des vannes	552
2.3.3. Étude des modifications de section	553
2.4. Étude du diaphragme et du venturi	553
3. Résultats expérimentaux	553
3.1. Étude des pertes de charge linéaires	553
3.1.1. Tube lisse	555
3.1.2. Tube rugueux	557
3.1.3. Exploitation des résultats	558
3.2. Étude des pertes de charge singulières	559
3.2.1. Coudes	561
3.2.2. Vannes	562
3.2.3. Changement de section	564
3.2.4. Systèmes déprimogènes	564
3.2.5. Interprétation des résultats	565

Chapitre 17

Mesure des débits d'un fluide incompressible

1. Rappels théoriques sur la mesure des débits	567
1.1. Principes de base	567
1.2. Mesure des débits	569
1.2.1. Venturi	569
1.2.2. Diaphragme	570
1.2.3. Rotamètre	571
1.3. Application au venturi	572
2. Matériels et expérimentation	572
2.1. Banc d'alimentation hydraulique	572
2.2. Mesure des débits	572
2.2.1. Description de l'appareil	573
2.2.2. Mesures	573
2.2.3. Exploitation des mesures	574
2.3. Étude du venturi	574
2.3.1. Description de l'appareil	575
2.3.2. Relevé des mesures	575
3. Résultats expérimentaux	575
3.1. Mesure des débits	575
3.1.1. Relevé des mesures	575
3.1.2. Calcul des débits	578
3.1.3. Calcul des pertes de charge	581
3.2. Étude du venturi	581
3.2.1. Mesure du coefficient de débit	583
3.2.2. Vérification de la distribution des pressions	583

Chapitre 18

Pompes centrifuges

1. Rappels théoriques sur les pompes	587
1.1. Caractéristiques d'une pompe	587
1.1.1. Hauteur manométrique totale	588
1.1.2. Puissance utile	588
1.1.3. Rendement	588
1.2. Courbes caractéristiques des pompes centrifuges	588
1.3. Couplage des pompes centrifuges	588
1.3.1. Couplage en série	589
1.3.2. Couplage en parallèle	589
2. Fonctionnement d'une pompe en aspiration	589
2.1. Hauteur limite d'aspiration	590
2.2. La cavitation	590
2.2.1. Le phénomène et ses causes	590
2.2.2. Évaluation de la cavitation	591
3. Matériels et expérimentation	591
3.1. Description du banc	593
3.2. Détermination des caractéristiques des pompes	593
3.2.1. Mise en route	593
3.2.2. Résultats	593

3.3. Couplage des pompes	594
3.3.1. Couplage en série	594
3.3.2. Couplage en parallèle	594
3.4. Détermination du NPSH disponible	594
3.4.1. Mesures à pression atmosphérique	595
3.4.2. Mesures sous pression réduite	595
4. Résultats expérimentaux	595
4.1. Détermination des courbes caractéristiques	595
4.1.1. Pompe P1	596
4.1.2. Pompe P2	596
4.2. Couplage des pompes	596
4.2.1. Couplage en série	598
4.2.2. Couplage en parallèle	599
4.3. Analyse des résultats	599
4.3.1. Hauteur manométrique totale	600
4.3.2. Puissance absorbée	601
4.3.3. Puissance utile	602
4.3.4. Rendement	603
4.3.5. Perte de charge	604
4.4. Étude de la cavitation	604
4.4.1. Conditions opératoires	605
4.4.2. Résultats expérimentaux	607
4.4.3. Interprétation des résultats	610
4.5. Données utilisées pour l'interprétation des résultats	610

Chapitre 19

Broyage et tamisage

1. Rappels théoriques sur le broyage et le tamisage	613
1.1. Broyage	613
1.1.1. Généralités	613
1.1.2. Facteurs influençant le broyage	613
1.1.3. Le broyeur à boulets	614
1.2. Tamisage	614
1.2.1. Généralités	614
1.2.2. Caractéristiques des surfaces de criblage	615
1.2.3. Analyse granulométrique	615
2. Matériels et expérimentation	615
2.1. Produits et matériels	615
2.1.1. Matières premières	615
2.1.2. Matériels et mise en route	616
2.2. Manipulation	616
2.2.1. Analyse granulométrique	616
2.2.2. Broyage du minerai de phosphate	617
2.2.3. Broyage de l'argile	618
3. Résultats expérimentaux	618
3.1. Étude d'un minerai de phosphate	618
3.1.1. Analyse granulométrique de la matière première	620
3.1.2. Influence de la durée du broyage	621
3.1.3. Influence de la vitesse de rotation du broyeur	621

3.2. Étude d'une argile	624
3.2.1. Analyse granulométrique de la matière première	624
3.2.2. Influence de la vitesse de rotation du broyeur	626

Annexes

Annexe 1 – Constantes critiques	631
Annexe 2 – Caractéristiques physiques des liquides	635
Annexe 3 – Caractéristiques physiques des gaz	638
Annexe 4 – Évolution des caractéristiques physiques de l'eau avec la température	640
Annexe 5 – Évolution de la masse volumique de l'air sec avec la température au voisinage de la pression atmosphérique normale	642
Annexe 6 – Évolution des caractéristiques physiques de l'air avec la température et la pression	643
Annexe 7 – Évolution de la compressibilité isotherme des liquides avec la température	644
Annexe 8 – Évolution de la viscosité dynamique des liquides avec la température	646
Annexe 9 – Évolution de la viscosité dynamique des gaz avec la température	647
Annexe 10 – Évolution de la tension de vapeur des composés organiques avec la température du liquide	648
Annexe 11 – Évolution de la température et de l'enthalpie de condensation de la vapeur d'eau saturée en fonction de la pression absolue	652
Annexe 12 – Tension superficielle des composés par rapport à l'air	654
Annexe 13 – Évolution de la tension superficielle et de la compressibilité de l'air avec la température	658
Annexe 14 – Influence de la température sur la tension superficielle de solutions aqueuses de méthanol et d'éthanol par rapport à l'air	659
Annexe 15 – Diffusivité des fluides dans les solvants	660
Annexe 16 – Capacités thermiques des gaz	662
Annexe 17 – Caractéristiques physiques de solides minéraux	664
Annexe 18 – Dureté des solides	665

Annexe 19 – Évolution de la tension de vapeur de solides inorganiques avec la température.....	669
Annexe 20 – Évolution de la tension de vapeur des solides organiques avec la température	671
Annexe 21 – Correspondance entre les diverses normes de tamis	673
Bibliographie	675
Index	677