

Table des matières

Préface	V
Avant-propos	XV
Nomenclature	XVII
1 Introduction et concepts fondamentaux	1
1. Définition d'un fluide	2
2. Concept de continuum	3
3. Définition d'une contrainte	5
4. Propriétés des fluides	6
4.1 Masse volumique, volume spécifique et poids spécifique	6
4.2 Viscosité	8
5. Relations thermodynamiques des gaz parfaits	14
5.1 Gaz Parfait	14
5.2 Énergie interne et enthalpie	16
5.3 Premier principe de la thermodynamique	17
5.4 Entropie et second principe de la thermodynamique	17
5.5 Compressibilité	19
6. Phénomènes d'interface fluide-fluide et fluide-solide	23
6.1 Tension superficielle	23
6.2 Équation de Young-Laplace	26
6.3 Loi de Laplace pour une surface quelconque	27
6.4 Phénomène de mouillabilité pour le contact fluide-solide	28
L'essentiel	31
Entraînez-vous	32
Solutions	36
2 Statique des fluides	41
1. Relation fondamentale de la statique	42
1.1 Force de pression	42
1.2 Principe fondamental de la statique (PFS)	42
1.3 Utilisation de la formulation continue	44
2. Intégration de la relation de l'hydrostatique	45
2.1 Cas simple	45
2.2 Cas où la masse volumique varie	46

3. Manomètres	49
4. Efforts exercés sur une surface indéformable – point d'application de la résultante	51
5. Loi de Jurin	55
6. Principe d'Archimède	56
L'essentiel	60
Entraînez-vous	61
Solutions	64
3 Cinématique des fluides	69
1. Introduction	69
1.1 Méthode lagrangienne (Joseph Louis Lagrange, 1736-1813)	70
1.2 Méthode eulérienne (Leonhard Euler, 1707-1783)	71
1.3 Relation entre la méthode eulérienne et lagrangienne	71
2. Dérivée particulaire et accélération	71
3. Lignes de courant, trajectoires et lignes d'émission	73
3.1 Lignes de courant	73
3.2 Trajectoires	74
3.3 Ligne d'émission	75
4. Translation, rotation et déformation	76
4.1 Écoulement uniforme	76
4.2 Translation avec déformations linéaires	76
4.3 Vitesse de déformation quelconque d'un élément fluide	78
4.4 Déformation angulaire	79
4.5 Tenseur des taux de rotation – Vecteur tourbillon	80
5. Fonction de courant – Écoulement incompressible	82
5.1 Définition	82
5.2 Propriétés	83
6. Écoulement irrotationnel – Potentiel des vitesses	84
7. Représentation d'écoulements par des fonctions complexes	86
8. Exemples d'écoulements complexes	87
8.1 Écoulement uniforme	87
8.2 Écoulement plan autour d'une source ou d'un puits	88
8.3 Vortex ou tourbillon libre	89
8.4 Association d'une source et d'un puits : doublet et dipôle	90
8.5 Écoulement autour d'un cylindre	92
8.6 Écoulement autour d'un cylindre avec circulation	93

L'essentiel	96
Entraînez-vous	97
Solutions	99
4 Dynamique des fluides parfaits : équation de Bernoulli et bilans sur volume de contrôle	105
1. Introduction	106
2. Théorème de Bernoulli	106
2.1 Démonstration par la conservation de l'énergie	106
2.2 Démonstration du théorème de Bernoulli à partir du Principe Fondamental de la Dynamique (PFD)	108
2.3 Cas de l'écoulement irrotationnel en régime transitoire	110
3. Méthodologie de construction des bilans macroscopiques	110
3.1 Objectifs	110
3.2 Méthodologie de construction des bilans macroscopiques	110
4. Bilan macroscopique de masse	112
4.1 Définition	112
4.2 Application à un écoulement unidirectionnel	112
5. Bilan macroscopique de quantité de mouvement	113
5.1 Formulation générale	113
5.2 Application à un écoulement unidirectionnel	114
6. Bilan macroscopique pour le moment angulaire	115
7. Relations de Blasius	116
L'essentiel	118
Entraînez-vous	119
Solutions	124
5 Écriture locale des équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie	135
1. Lois de transport	136
1.1 Introduction	136
1.2 Application à une grandeur scalaire	136
1.3 Application à une grandeur vectorielle	139
2. Forme locale des équations de conservation	139
2.1 Conservation de la masse	139
2.2 Conservation de la quantité de mouvement	141

2.3	Conservation du moment de quantité de mouvement	143
2.4	Conservation de l'énergie	144
3.	Expression du théorème de Bernoulli	146
4.	Relations de Navier-Stokes	149
4.1	Tenseur des contraintes	149
4.2	Loi de comportement de Navier-Stokes	150
4.3	Les équations de Navier-Stokes	152
5.	Approximation de la lubrification hydrodynamique	153
6.	Notion de couche limite	154
6.1	Introduction	154
6.2	Bilan de masse	155
6.3	Bilan de quantité mouvement	156
	L'essentiel	159
	Entraînez-vous	160
	Solutions	163
6	Rhéologie des fluides	171
1.	Introduction	171
2.	Comportement pseudo-plastique	172
2.1	Explication phénoménologique	172
2.2	Loi d'Ostwald	173
2.3	Généralisation de la loi-puissance au cas tridimensionnel	174
3.	Comportement viscoélastique	175
3.1	Gonflement en sortie de filière	175
3.2	Effet Weissenberg	175
3.3	Explication phénoménologique	177
3.4	Comportement transitoire	178
4.	Loi de comportement d'un matériau viscoélastique en 1D	179
4.1	Cellule de Maxwell	180
4.2	Relaxation de la contrainte	180
4.3	Recouvrance de la déformation	180
5.	Lois de comportement d'un matériau viscoélastique en 3D	181
5.1	Différence de contraintes normales	181
5.2	Lois à dérivation convective de la contrainte	182
	L'essentiel	186
	Entraînez-vous	187
	Solutions	190

7	Analyse dimensionnelle et principe de similitude	201
	1. Introduction	201
	1.1 Similitude géométrique	202
	1.2 Similitude cinématique	202
	1.3 Similitude dynamique	203
	1.4 Écoulements gouvernés par les forces visqueuses, de pression et d'inertie	203
	1.5 Écoulements avec forces de gravité, de pression et d'inertie	204
	1.6 Écoulements avec tension de surface comme force dominante	205
	1.7 Écoulements à force élastique	206
	1.8 Écoulements oscillatoires	207
	1.9 Dimensions des quantités physiques	207
	2. Théorème de Vashy-Buckingham	208
	2.1 Constitution du système linéaire	208
	2.2 Détermination des termes π	208
	3. Exemples d'application	209
	3.1 Écoulement incompressible dans une conduite cylindrique	209
	3.2 Écoulement incompressible autour d'une sphère	210
	4. Analyse dimensionnelle sur les équations de transport	211
	L'essentiel	215
	Entraînez-vous	216
	Solutions	217
8	Turbulence	221
	1. Introduction	221
	2. Les caractéristiques de la turbulence	222
	3. La transition laminaire – turbulent	223
	4. Fonctions de corrélation, mouvement moyen et fluctuations	224
	5. Équations pour un écoulement turbulent	228
	6. Équations de couche limite turbulente sur une plaque plane	230
	6.1 Équations de couche limite	230
	6.2 Conditions aux limites	231
	7. Modèle de contrainte de cisaillement	232

8.	Distribution de vitesse et coefficient de frottement pour les écoulements dans des tubes à grand nombre de Reynolds	234
	L'essentiel	238
	Entraînez-vous	239
	Solutions	240
9	Théorème de Bernoulli généralisé	243
1.	Utilisation du théorème de Bernoulli avec les fluides réels	243
2.	Conséquence de l'hypothèse d'écoulement unidirectionnel	245
3.	Écoulement d'un fluide à l'entrée d'une conduite	247
4.	Pertes de charge régulières	248
4.1	Coefficient de perte de charge	248
4.2	Coefficient de perte de charge en régime laminaire	250
4.3	Coefficient de perte de charge en régime turbulent	251
4.4	Pertes de charge dans les conduites non circulaires	255
5.	Pertes de charge singulières	255
6.	Pertes de charge pour un écoulement à surface libre dans un canal	258
	L'essentiel	260
	Entraînez-vous	261
	Solutions	263
10	Écoulements autour d'obstacles – traînée et portance	267
1.	Notion de portance et traînée	267
2.	Forces agissant sur l'obstacle	268
3.	La traînée	270
3.1	Traînée pour un cylindre	270
3.2	Cas du fluide visqueux	273
3.3	Traînée pour une sphère	275
4.	La portance – Effet Magnus	277
5.	Écoulement autour d'un profil d'aile d'avion	278
6.	Décollement de la couche limite	280

L'essentiel	284
Entraînez-vous	285
Solutions	287
11 Écoulements compressibles – Ondes de choc et écoulement dans les tuyères	291
1. Introduction	292
2. Vitesse du son	292
3. Écoulement isentropique et point d'arrêt	295
4. Ondes de choc	297
4.1 Définition	297
4.2 Ondes de choc normal	299
4.3 Onde de choc oblique	302
4.4 Onde de détente	305
5. Effets de la variation de la section sur les propriétés de l'écoulement dans le cas isentropique	309
6. Distribution de pression et phénomène de blocage sonique dans une tuyère convergente	315
7. Écoulement compressible dans une tuyère convergente-divergente	317
L'essentiel	320
Entraînez-vous	321
Solutions	323
12 Introduction aux milieux poreux	327
1. Introduction générale	327
2. Paramètres géométriques d'un milieu poreux	328
2.1 Porosité	328
2.2 Aire spécifique	329
2.3 Tortuosité	329
3. Équation de Darcy	331
4. Modèles de perméabilité	332
5. Extensions de la loi de Darcy	333
5.1 Équation de Dupuit-Forcheimer (DF)	334
5.2 Équation de Brinkmann	335
5.3 Conditions aux limites hydrodynamiques	335

Table des matières

L'essentiel	337
Entraînez-vous	338
Solutions	340
Annexes	345
Bibliographie	357
Index	359