

TABLE DES MATIÈRES

Préface	V
Avant-propos de la seconde édition	XV
Nomenclature	XVII
Chapitre 1. Introduction et concepts fondamentaux	1
1.1 Introduction générale	1
1.2 Définition d'une contrainte	2
1.3 Définition d'un fluide	3
1.4 Concept de continuum	5
1.5 Propriétés des fluides	7
1.5.1 Masse volumique, volume spécifique et poids spécifique	7
1.5.2 Viscosité	8
1.6 Relations thermodynamiques des gaz parfaits	14
1.6.1 Gaz parfait	14
1.6.2 Énergie interne et enthalpie	15
1.6.3 Premier principe de la Thermodynamique	16
1.6.4 Entropie et second principe de la Thermodynamique	17
1.6.5 Compressibilité	18
1.7 Phénomènes d'interface fluide-fluide et fluide-solide	22
1.7.1 Tension superficielle	22
1.7.2 Équation de Young-Laplace	25
1.7.3 Loi de Laplace pour une surface quelconque	26
1.7.4 Phénomène de mouillabilité pour le contact fluide-solide	27
Exercices	29
Solutions	33

Table des matières

Chapitre 2. Statique des fluides	37
2.1 Introduction	37
2.2 Relation de la statique	38
2.2.1 Force de pression	38
2.2.2 Principe fondamental de la statique (PFS)	38
2.2.3 Utilisation de la formulation continue	39
2.3 Intégration de la relation de l'hydrostatique	41
2.4 Manomètres	44
2.5 Efforts exercés sur une surface indéformable – point d'application de la résultante	45
2.6 Loi de Jurin	46
2.7 Principe d'Archimède	47
Exercices	50
Solutions	53
Chapitre 3. Cinématique des fluides	58
3.1 Introduction	58
3.1.1 Méthode lagrangienne (Joseph Louis Lagrange, 1736-1813)	59
3.1.2 Méthode eulérienne (Leonhard Euler, 1707-1783)	60
3.1.3 Relation entre la méthode eulérienne et lagrangienne	60
3.2 Dérivée particulaire et accélération	60
3.3 Lignes de courant, trajectoires et lignes d'émission	61
3.3.1 Lignes de courant	61
3.3.2 Trajectoires	62
3.3.3 Lignes d'émission	63
3.4 Translation, rotation et déformation	64
3.4.1 Écoulement uniforme	64
3.4.2 Translation avec déformations linéaires	65
3.4.3 Vitesse de déformation quelconque d'un élément fluide	65
3.4.4 Tenseur de rotation – Vecteur tourbillon	67
3.5 Fonction de courant – Écoulement incompressible	68
3.5.1 Définition	68
3.5.2 Propriétés	69
3.6 Écoulement irrotationnel – Potentiel des vitesses	70
3.7 Représentation d'écoulements par des fonctions complexes	72

3.8	Exemples d'écoulements complexes	73
3.8.1	Écoulement uniforme	73
3.8.2	Écoulement plan autour d'une source ou d'un puits	74
3.8.3	Vortex ou tourbillon libre	75
3.8.4	Association d'une source et d'un puits : doublet et dipôle	77
3.8.5	Écoulement autour d'un cylindre	78
3.8.6	Écoulement autour d'un cylindre avec circulation	80
	Exercices	82
	Solutions	84
Chapitre 4. Dynamique des fluides parfaits : équations de Bernoulli et bilans sur volume de contrôle		89
4.1	Introduction	89
4.2	Théorème de Bernoulli	90
4.2.1	Démonstration par la conservation de l'énergie	90
4.2.2	Démonstration du théorème de Bernoulli à partir du Principe Fondamental de la Dynamique (PFD)	92
4.2.3	Cas de l'écoulement irrotationnel en régime transitoire	93
4.3	Méthodologie de construction des bilans macroscopiques	94
4.3.1	Objectifs	94
4.3.2	Méthodologie de construction des bilans macroscopiques	94
4.4	Bilan macroscopique de masse	96
4.4.1	Définition	96
4.4.2	Application à un écoulement unidirectionnel	96
4.5	Bilan macroscopique de quantité de mouvement	97
4.5.1	Formulation générale	97
4.5.2	Application à un écoulement unidirectionnel	98
4.6	Bilan macroscopique pour le moment angulaire	99
4.7	Relations de Blasius	99
	Exercices	101
	Solutions	105
Chapitre 5. Écriture locale des équations de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie		117
5.1	Lois de transport	118
5.1.1	Introduction	118
5.1.2	Application à une grandeur scalaire	118
5.1.3	Application à une grandeur vectorielle	120

Table des matières

5.2	Forme locale des équations de conservation	
5.2.1	Conservation de la masse	
5.2.2	Conservation de la quantité de mouvement	
5.2.3	Conservation du moment de quantité de mouvement	
5.2.4	Conservation de l'énergie	
5.3	Expression du théorème de Bernoulli	
5.4	Relation de Navier-Stokes	
5.4.1	Tenseur des contraintes	
5.4.2	Loi de comportement de Navier-Stokes	
5.4.3	Les équations de Navier-Stokes	
5.5	Approximation de la lubrification hydrodynamique	
	Exercices	
	Solutions	

Chapitre 6. Rhéologie des fluides

6.1	Introduction	
6.2	Comportement pseudo-plastique	
6.2.1	Explication phénoménologique	
6.2.2	Loi d'Ostwald	
6.2.3	Généralisation de la loi-puissance au cas tridimensionnel	
6.3	Comportement viscoélastique	
6.3.1	Gonflement en sortie de filière	
6.3.2	Effet Weissenberg	
6.3.3	Instabilités des écoulements viscoélastiques	
6.3.4	Explication phénoménologique	
6.3.5	Comportement transitoire	
6.4	Loi de comportement d'un matériau viscoélastique en 1D	
6.4.1	Cellule de Maxwell	
6.4.2	Relaxation de la contrainte	
6.4.3	Recouvrance de la déformation	
6.5	Lois de comportement d'un matériau viscoélastique en 3D	
6.5.1	Différence de contraintes normales	
6.5.2	Lois à dérivation convective de la contrainte	
	Exercices	
	Solutions	

Chapitre 7. Analyse dimensionnelle et principe de similitude	175
7.1 Introduction	175
7.1.1 Similitude géométrique	176
7.1.2 Similitude cinématique	176
7.1.3 Similitude dynamique	176
7.1.4 Écoulements gouvernés par les forces visqueuses, de pression et d'inertie	177
7.1.5 Écoulements avec forces de gravité, de pression et d'inertie	178
7.1.6 Écoulements avec tension de surface comme force dominante	179
7.1.7 Écoulements à force élastique	179
7.1.8 Écoulements oscillatoires	180
7.1.9 Dimensions des quantités physiques	180
7.2 Théorème de Vashy-Buckingham	181
7.2.1 Constitution du système linéaire	181
7.2.2 Détermination des termes π	182
7.3 Similitude basée sur les équations de transport	182
7.4 Exemples d'application	184
7.4.1 Écoulement incompressible dans une conduite cylindrique	184
7.4.2 Écoulement incompressible autour d'une sphère	185
Exercices	187
Solutions	188
Chapitre 8. Turbulence	192
8.1 Introduction	192
8.2 Les caractéristiques de la turbulence	193
8.3 La transition laminaire-turbulent	194
8.4 Fonctions de corrélation, mouvement moyen et fluctuations	195
8.5 Équations pour un écoulement turbulent	198
8.6 Équations de couche limite turbulente sur une plaque plane	200
8.6.1 Équations de couche limite	200
8.6.2 Conditions aux limites	201
8.7 Modèles de contrainte de cisaillement	203
8.8 Distribution de vitesse et coefficient de frottement pour les écoulements dans des tubes à grand nombre de Reynolds	205
Exercices	207
Solutions	208

Chapitre 9. Théorème de Bernoulli généralisé

- 9.1 Utilisation du théorème de Bernoulli avec les fluides réels
- 9.2 Conséquence de l'hypothèse d'écoulement unidirectionnel
- 9.3 Écoulement d'un fluide à l'entrée d'une conduite
- 9.4 Pertes de charge régulières
 - 9.4.1 Coefficient de perte de charge
 - 9.4.2 Coefficient de perte de charge en régime laminaire
 - 9.4.3 Coefficient de perte de charge régulière en régime turbulent
 - 9.4.4 Pertes de charge dans les conduites non circulaires
- 9.5 Pertes de charge singulières
- 9.6 Pertes de charge pour un écoulement à surface libre dans un canal
- Exercices
- Solutions

Chapitre 10. Écoulements autour d'obstacles - Traînée et portance

- 10.1 Notion de portance et traînée
- 10.2 Forces agissant sur l'obstacle
- 10.3 La traînée
 - 10.3.1 Traînée pour un cylindre
 - 10.3.2 Cas du fluide visqueux
 - 10.3.3 Traînée pour une sphère
- 10.4 La portance – Effet Magnus
- 10.5 Traînée sur une plaque plane – Notion de couche limite
 - 10.5.1 Couche limite laminaire
 - 10.5.2 Couche limite turbulente
- 10.6 Écoulement autour d'un profil d'aile d'avion
- Exercices
- Solutions

Chapitre 11. Écoulements compressibles – Propagation d'ondes

- 11.1 Introduction
- 11.2 Vitesse du son
- 11.3 Équations de base pour un écoulement unidimensionnel
- 11.4 Point d'arrêt et vitesse du son

11.5	Effets de la variation de la section sur les propriétés de l'écoulement dans le cas isentropique	264
11.6	Écoulement isentropique dans une tuyère convergente	267
11.7	Distribution de pression et phénomène de blocage sonique dans une tuyère convergente	269
11.8	Écoulement isentropique dans une tuyère convergente-divergente	270
11.9	Onde de choc normal	271
11.10	Calcul des propriétés d'écoulement à travers un choc normal	273
11.11	Onde de choc oblique	274
	Exercices	276
	Solutions	278
Chapitre 12. Introduction aux milieux poreux		282
12.1	Introduction générale	282
12.2	Paramètres géométriques d'un milieu poreux	283
	12.2.1 Porosité	283
	12.2.2 Aire spécifique	284
	12.2.3 Tortuosité	284
12.3	Équation de Darcy	286
12.4	Modèles de perméabilité	287
12.5	Extensions de la loi de Darcy	288
	12.5.1 Équation de Dupuit-Forcheimer (DF)	289
	12.5.2 Équation de Brinkmann	290
	12.5.3 Conditions aux limites hydrodynamiques	290
	Exercices	291
	Solutions	293
Annexes mathématiques et synthèse des relations fondamentales		297
	Tenseurs	297
	Opérateurs	298
	Coordonnées cartésiennes	298
	Coordonnées cylindriques	299
	Coordonnées sphériques	300
	Dérivée particulaire	301
	Tenseur des vitesses de déformation	301
	Conservation de la masse (équation de continuité)	302

Table des matières

Conservation de la quantité de mouvement	103
Équations de Navier Stokes pour un écoulement incompressible	104
Relations usuelles	105
Intégration	105
Index	107