

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

MILIEUX CONTINUS

Écoulements et transferts

Fluides parfaits, fluides réels, convection

Raymond BRUN

Naoual BELOUAGGADIA



Sommaire

Avant-propos	3
Notations	9

Partie A. Préliminaires généraux

Chapitre I Les milieux fluides

1 Généralités	15
2 Evolution d'un système fluide	16
3 Fluides parfaits, Fluides réels	20
Exercices du Chapitre I	22

Chapitre II Statique des fluides

1 Equation fondamentale	27
2 Fluide incompressible dans le champ de pesanteur	28
3 Fluide compressible dans le champ de pesanteur	33
4 Autre exemple, Force centrifuge	34
Exercices du Chapitre II	35

Partie B. Fluides parfaits

Chapitre III Ecoulements monodimensionnels

1 Equation de continuité	43
2 Equation fondamentale de la dynamique	44
3 Equation de conservation de l'énergie	46
4 Relations supplémentaires, Equation d'état	47
5 Equations globales de bilan	48
Exercices du Chapitre III	51

Chapitre IV Ecoulements monodimensionnels de fluides incompressibles

1 Ecoulements isentropiques, Relation de Bernoulli	55
2 Applications pratiques	56
3 Ecoulements quasi-permanents	60
4 Mouvements circulaires	62
Exercices du Chapitre IV	63

Chapitre V Equations générales. Application aux fluides incompressibles

1 Equations générales de conservation	69
2 Ecoulements à potentiel de vitesse	71
3 Ecoulements plans irrotationnels d'un fluide incompressible	72
4 Force subie par un obstacle	79

Exercices du Chapitre V	81
Chapitre VI Écoulements de fluides compressibles	
1 Gaz parfait. Gaz idéal	85
2 Écoulements permanents isentropiques	86
3 Tuyère convergente-divergente	91
4 Écoulements monodimensionnels instationnaires	92
Exercices du Chapitre VI	94
Chapitre VII Ondes de choc et écoulements supersoniques	
1 Formation des ondes de choc	98
2 Onde de choc droite. Relations de Rankine-Hugoniot	99
3 Écoulements comportant des ondes de choc	103
Exercices du Chapitre VII	108
Annexe B1 Éléments d'algèbre tensorielle	112
Annexe B2 Systèmes de coordonnées et expressions générales	116
 Partie C. Fluides réels	
Chapitre VIII Généralités	
1 Phénomène de viscosité	123
2 Phénomène de conduction	132
3 Phénomène de diffusion	132
4 Grandeurs caractéristiques	133
Chapitre IX Equations générales	
1 Equations de conservation	136
2 Equation d'état	140
3 Equations intrinsèques	141
4 Cas d'un mélange homogène	142
Exercices du Chapitre IX	143
Chapitre X Écoulements laminaires	
1 Écoulement dans les tubes	146
2 Écoulement de Couette	150
3 Graissage hydrodynamique	151
4 Écoulement d'un mélange	152
Exercices du Chapitre X	154
Chapitre XI Écoulements turbulents	
1 Généralités	161
2 Equations du mouvement moyen	162
3 Modèles de turbulence	163
4 Écoulement établi dans un tube	166
Exercices du Chapitre XI	169
Chapitre XII Analyse globale des écoulements	
1 Similitude des écoulements	172

2 Analyse dimensionnelle des écoulements	176
3 Analyse globale des écoulements	177
Exercices du Chapitre XII	178
Chapitre XIII Pertes de charge dans les conduites	
1 Pertes de charge régulières	181
2 Pertes de charge singulières	186
3 Réseaux de conduites	190
Exercices du Chapitre XIII	192
Chapitre XIV Ecoulements de fluides compressibles	
1 Ecoulement adiabatique avec frottement	196
2 Ecoulement avec transfert de chaleur	200
3 Ecoulements à haute température	203
Exercices du Chapitre XIV	206
Chapitre XV Ecoulements de liquides à surface libre	
1 Ecoulement d'un liquide parfait dans un canal	211
2 Pertes de charge dans les canaux	218
3 Exemples d'écoulements	221
Exercice du Chapitre XV	222
Chapitre XVI La couche limite	
1 Epaisseurs de couche limite	226
2 Couche limite laminaire en régime incompressible	229
3 Couche limite turbulente sur une plaque plane	233
Exercices du Chapitre XVI	235
Partie D. Convection	
Chapitre XVII Généralités	
1 Conduction et convection	243
2 Exemple simple	244
3 Coefficient de convection	245
4 Analyse dimensionnelle. Nombres sans dimension	247
Exercices du Chapitre XVII	250
Chapitre XVIII Régime laminaire. Ecoulements en conduite	
1 Régime incompressible établi	254
2 Etude dynamique dans un tube circulaire	255
3 Etude thermique dans un tube circulaire	256
4 Régime thermique non établi dans un tube	259
5 Différence de température moyenne	260
Exercices du Chapitre XVIII	262
Chapitre XIX Régime laminaire. Couche limite	
1 Couches limites dynamique et thermique	265
2 Couche limite de plaque plane	267
3 Couche limite sur un dièdre	270

4 Autres exemples de couche limite	273
Exercices du Chapitre XIX	276
Chapitre XX Analogie de Reynolds et régime turbulent	
1 Analogie de Reynolds en régime laminaire	281
2 Equation de l'énergie en régime turbulent	283
3 Analogie de Reynolds en régime turbulent	284
4 Régime turbulent dans un tube circulaire	284
5 Couche limite turbulente sur une plaque plane	289
Exercice du Chapitre XX	290
Chapitre XXI Résultats généraux en convection forcée	
1 Analyse dimensionnelle	292
2 Influence des propriétés physiques des fluides	292
3 Formules semi-empiriques classiques	294
4 Cas des métaux liquides	296
5 Convection forcée avec changement de phase	297
Exercice du Chapitre XXI	302
Chapitre XXII Les échangeurs de chaleur	
1 Les divers types d'échangeurs de chaleur	305
2 Calcul des transferts thermiques	307
3 Méthode de l'efficacité	313
4 Facteurs d'encrassement	315
Exercices du Chapitre XXII	316
Chapitre XXIII La convection naturelle	
1 Similitude en convection naturelle	320
2 Convection naturelle le long d'une plaque verticale	321
3 Corrélations empiriques en convection naturelle	324
4 Convection naturelle dans des enceintes fermées	325
5 Régime de convection mixte	326
Exercice du Chapitre XXIII	327
Bibliographie	330
Index des matières	331