

# TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

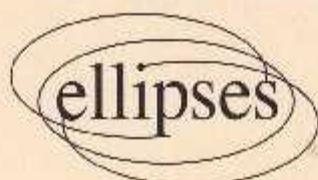
## MILIEUX CONTINUS

# 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

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

2 Analyse dimensionnelle des écoulements	176
3 Analyse globale des écoulements	177
<b>Exercices du Chapitre XII</b>	178
<b>Chapitre XIII Pertes de charge dans les conduites</b>	
1 Pertes de charge régulières	181
2 Pertes de charge singulières	186
3 Réseaux de conduites	190
<b>Exercices du Chapitre XIII</b>	192
<b>Chapitre XIV Ecoulements de fluides compressibles</b>	
1 Ecoulement adiabatique avec frottement	196
2 Ecoulement avec transfert de chaleur	200
3 Ecoulements à haute température	203
<b>Exercices du Chapitre XIV</b>	206
<b>Chapitre XV Ecoulements de liquides à surface libre</b>	
1 Ecoulement d'un liquide parfait dans un canal	211
2 Pertes de charge dans les canaux	218
3 Exemples d'écoulements	221
<b>Exercice du Chapitre XV</b>	222
<b>Chapitre XVI La couche limite</b>	
1 Epaisseurs de couche limite	226
2 Couche limite laminaire en régime incompressible	229
3 Couche limite turbulente sur une plaque plane	233
<b>Exercices du Chapitre XVI</b>	235
<b>Partie D. Convection</b>	
<b>Chapitre XVII Généralités</b>	
1 Conduction et convection	243
2 Exemple simple	244
3 Coefficient de convection	245
4 Analyse dimensionnelle. Nombres sans dimension	247
<b>Exercices du Chapitre XVII</b>	250
<b>Chapitre XVIII Régime laminaire. Ecoulements en conduite</b>	
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
<b>Exercices du Chapitre XVIII</b>	262
<b>Chapitre XIX Régime laminaire. Couche limite</b>	
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
<b>Exercices du Chapitre XIX</b>	<b>276</b>
<b>Chapitre XX Analogie de Reynolds et régime turbulent</b>	
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
<b>Exercice du Chapitre XX</b>	<b>290</b>
<b>Chapitre XXI Résultats généraux en convection forcée</b>	
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
<b>Exercice du Chapitre XXI</b>	<b>302</b>
<b>Chapitre XXII Les échangeurs de chaleur</b>	
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
<b>Exercices du Chapitre XXII</b>	<b>316</b>
<b>Chapitre XXIII La convection naturelle</b>	
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
<b>Exercice du Chapitre XXIII</b>	<b>327</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>330</b>
<b>Index des matières</b>	<b>331</b>