

Mécanique des fluides

Problèmes résolus avec rappels de cours



Didier Desjardins

Professeur à l'université Bordeaux 1

Michel Combarous

Professeur à l'université Bordeaux 1

Natalie Bonneton

Maître de conférences à l'université Bordeaux 1

DUNOD

Table des matières

AVANT-PROPOS

IX

CHAPITRE 1 • CINÉMATIQUE ET CINÉTIQUE DES ÉCOULEMENTS

1

RAPPELS DE COURS

1.	Vitesse locale du fluide	1
2.	Cinématique eulérienne	1
3.	Champ des accélérations	1
4.	Généralisation à l'expression de quelques dérivées particulières	2
5.	Lignes et tubes de courant, trajectoires, lignes d'émission	3
6.	Taux de rotation ou tourbillon	4
7.	Descriptions cinématiques eulériennes et lagrangiennes	4
8.	Conservation de la masse	4
9.	Équation globale	4
10.	Équation locale de continuité	5
11.	Mouvement isovolume	5

EXERCICES ET PROBLÈMES

1.1	Mouvement d'un fluide au sein d'une machine tournante	5
1.2	Mouvement circulaire de Couette	7
1.3	Mouvement hélicoïdal	8
1.4	Étude d'un mouvement irrotationnel	9
1.5	Étude d'un mouvement de révolution	11
1.6	Équation de continuité en description lagrangienne	12
1.7	Écoulement d'un fluide visqueux à l'entrée d'une conduite	14

CHAPITRE 2 • LOIS DE COMPORTEMENT

15

RAPPELS DE COURS

1.	Tenseur des contraintes et des vitesses de déformation	15
2.	Généralités	16
3.	Fluide classique	16
4.	Situations particulières	15
5.	Dimension et unité des coefficients de viscosité	16
6.	État de contrainte au sein d'un fluide au repos ou d'un fluide parfait en mouvement	17

EXERCICES ET PROBLÈMES

2.1	Contrainte en un point d'un écoulement de Couette	17
2.2	Relation entre les coefficients de viscosité selon l'hypothèse de Stokes	18

CHAPITRE 3 • STATIQUE DES FLUIDES 19

RAPPELS DE COURS 19

1. Équations générales 19
2. Hydrostatique 20
3. Statique des fluides compressibles 20
4. Principe d'Archimède 20

EXERCICES ET PROBLÈMES 20

- 3.1 Mesure de pression dans l'eau 20
- 3.2 Mesure de pression dans l'atmosphère 22
- 3.3 Vanne d'écluse immergée 24
- 3.4 Étude de l'action de l'eau sur la paroi plane d'un barrage 26
- 3.5 Résultante des forces de pression qui s'exercent sur un bol 28
- 3.6 Corps immergé dans deux fluides différents 29
- 3.7 Force ascensionnelle d'un ballon 30

CHAPITRE 4 • ÉQUATIONS LOCALES DU MOUVEMENT : APPLICATIONS AUX FLUIDES PARFAITS 32

RAPPELS DE COURS 32

1. Énoncé fondamental 32
2. Équation locale générale 33
3. Équation d'Euler 33
4. Théorème de Bernoulli 33

EXERCICES ET PROBLÈMES 34

- 4.1 Tube de Pitot 34
- 4.2 Tube de Venturi 34
- 4.3 Formule de Torricelli 37
- 4.4 Déversoir à bord mince 38
- 4.5 Équations intrinsèques 40
- 4.6 Mise en mouvement d'un liquide parfait dans une conduite coudée 46

CHAPITRE 5 • THÉORÈME DES QUANTITÉS DE MOUVEMENT 51

RAPPELS DE COURS 51

1. Énoncé du théorème 51
2. Équation de conservation de la quantité de mouvement 53

EXERCICES ET PROBLÈMES	53
5.1 Efforts exercés sur une canalisation hydraulique	53
5.2 Résultante des forces de pression sur une lance à incendie	54
5.3 Action d'un jet sur une plaque plane	56
5.4 Centrale hydroélectrique	61
5.5 Étude d'un mélangeur cylindrique	67
5.6 Écoulement dans une conduite avec élargissement brusque	68
5.7 Écoulement à travers une persienne	71
5.8 Sustentation par coussin d'air	76
5.9 Ressaut hydraulique	81
5.10 Distribution d'eau dans une tuyauterie à bifurcation	83
5.11 Efforts sur une écluse	87
5.12 Éolienne	89
5.13 Étude d'un propulseur	93
5.14 Ventilation d'un tunnel par injection latérale	97
5.15 Étude d'un tourniquet	101
 CHAPITRE 6 • ÉCOULEMENTS PLANS DE FLUIDES PARFAITS	 105
RAPPELS DE COURS	105
1. Fonction de courant, potentiel des vitesses, potentiel complexe	105
2. Conditions aux frontières, calcul des forces de pression	106
3. Écoulements élémentaires	106
4. Superposition d'écoulements	107
5. Calcul des efforts sur une paroi	107
6. Transformation conforme, théorie des profils	108
EXERCICES ET PROBLÈMES	109
6.1 Efforts exercés sur des singularités	109
6.2 Écoulement le long d'une paroi rugueuse sinusoïdale	111
6.3 Écoulement résultant de la superposition d'écoulements à potentiel complexe	112
6.4 Étude d'un écoulement dans un angle droit	116
6.5 Écoulement à travers une série d'obstacles profilés	119
6.6 Écoulement plan autour d'un ovale	124
6.7 Écoulement autour d'un obstacle à cavité illimitée	131
6.8 Écoulement plan autour d'un cercle (1)	136
6.9 Écoulement plan autour d'un cercle (2)	137
6.10 Tourbillon au sein d'un écoulement uniforme en présence d'une paroi plane	141
6.11 Étude par la transformation de Joukowski de l'écoulement autour d'une plaque plane	146
6.12 Écoulement autour d'un cylindre	151

CHAPITRE 7 • ÉCOULEMENTS DE RÉVOLUTION IRROTATIONNELS PERMANENTS D'UN FLUIDE PARFAIT INCOMPRESSIBLE 157

RAPPELS DE COURS 157

1. Définition et notations 157
2. Potentiel des vitesses ϕ 158
3. Fonction de courant ψ 158

EXERCICES ET PROBLÈMES 160

- 7.1 Comparaison entre les écoulements à potentiels autour d'un cylindre et d'une sphère 160
- 7.2 Image d'une source et d'un doublet par rapport à une sphère 163
- 7.3 Écoulement autour d'un tube de Pitot 168
- 7.4 Écoulement autour d'une sphère immobile 172

CHAPITRE 8 • ONDES DE SURFACE 177

RAPPELS DE COURS 177

1. Système d'équations 177
2. Conditions aux limites 178

EXERCICES ET PROBLÈMES 180

- 8.1 Houle sinusoïdale 180
- 8.2 Onde de gravité interfaciale 184

CHAPITRE 9 • ÉCOULEMENTS COMPRESSIBLES D'UN FLUIDE PARFAIT BAROTROPE 191

RAPPELS DE COURS 191

1. Le gaz parfait 191
2. Évolution isotherme 192
3. Évolution adiabatique 192
4. Conséquence du caractère irrotationnel de l'écoulement 192
5. Relations entre c , ρ , p et q dans le cas d'écoulement adiabatique 194
6. Écoulement dans un tube de courant 195

EXERCICES ET PROBLÈMES 195

- 9.1 Régimes continus dans une tuyère (buse de Laval) 195
- 9.2 Fluide parfait compressible en évolution isotherme 198
- 9.3 Écoulement isentropique dans une tuyère 199
- 9.4 Étude d'un vol subsonique 204
- 9.5 Vol supersonique d'un avion 205
- 9.6 Propulseur à réaction 207

CHAPITRE 10 • SOLUTIONS SIMPLLES DES ÉQUATIONS DE NAVIER-STOKES	213
RAPPELS DE COURS	213
1. Équations locales du mouvement isovolume	213
2. Stabilité des solutions des équations de Navier-Stokes	214
EXERCICES ET PROBLÈMES	215
10.1 Modèle schématique du mouvement d'un glacier	215
10.2 Écoulement de Poiseuille	220
10.3 Écoulement dans une conduite de section droite non circulaire	223
10.4 Écoulement visqueux entre deux tubes cylindriques dont l'un est mobile	230
10.5 Amortisseur hydraulique	234
10.6 Écoulement de Couette	238
10.7 Viscosimètre de Weissenberg	242
10.8 Écoulement visqueux autour d'un disque plan en rotation uniforme	246
10.9 Écoulement laminaire autour d'une sphère	248
10.10 Théorie du graissage hydrodynamique	252
10.11 Palier hydrodynamique	258
10.12 Sphère immobile au sein d'un fluide visqueux en écoulement uniforme à l'infini	263
10.13 Tourbillon visqueux	270
10.14 Écrasement d'un fluide visqueux entre deux plaques	275
10.15 Effet Fahraeus Lindquist	280
CHAPITRE 11 • NOTIONS DE COUCHE LIMITE ET DE TURBULENCE	285
RAPPELS DE COURS	285
1. Notion de couche limite	285
2. Notion de turbulence	285
3. Vitesse moyenne et vitesse d'agitation	286
EXERCICES ET PROBLÈMES	287
11.1 Plaque oscillante	287
11.2 Calculs élémentaires de corrélation en écoulement turbulent	291
11.3 Étude de la transition laminaire-turbulent pour l'écoulement autour d'une sphère	298
ANNEXES	299
Identités remarquables entre opérateurs vectoriels	299
Coordonnées cylindriques	299
Coordonnées sphériques	303
BIBLIOGRAPHIE	306
INDEX	307

SCIENCES SUP

Didier Desjardins
Michel Combarnous
Natalie Bonneton

MÉCANIQUE DES FLUIDES

Problèmes résolus avec rappels de cours

La mécanique des fluides est l'un des premiers domaines de la physique où se sont développés approches quantitatives et formalismes mathématiques. Aujourd'hui, la maîtrise de cette discipline est d'autant plus précieuse que ses applications industrielles sont nombreuses et les sujets de recherche variés. Cet ouvrage propose un grand nombre de problèmes traitant de cas réels, tous corrigés de manière très détaillée et précédés de rappels de cours brefs mais précis.

L'ouvrage aborde les aspects généraux de la cinétique eulérienne ou lagrangienne, comme les lois générales de conservation de masse ou de quantité de mouvement. Il traite abondamment de la statique et de la dynamique des fluides parfaits (étude des écoulements plans ou de révolution à potentiel), et couvre certains aspects de la mécanique des fluides compressibles. Il expose également quelques applications aux équations de Navier-Stokes.

Cet ouvrage est destiné aux étudiants en mécanique et physique de second cycle universitaire, aux élèves en écoles d'ingénieurs et aux candidats à l'agrégation.



DIDIER DESJARDINS
est professeur à
l'université Bordeaux T.

MICHEL COMBARNOUS
est professeur à
l'université Bordeaux T.

NATALIE BONNETON
est maître de conférence
à l'université Bordeaux

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA VIE

SCIENCES DE LA TERRE



DUNOD



9 782100 046515

ISBN 2 10 004651 9

<http://www.dunod.com>