

Abderrahim Zegloul

Statique et écoulement des fluides

Cours et applications corrigées



L3

Écoles
d'ingénieurs



Table des matières

1	Propriétés des fluides	1
1.1	Introduction	1
1.2	Définition d'un fluide	1
1.3	Masse volumique	4
1.4	Viscosité	5
1.5	Tension superficielle	10
1.6	Capillarité	12
1.7	Module d'élasticité et compressibilité d'un fluide	14
1.8	Forces s'exerçant sur un fluide	16
1.8.1	Forces de volume	16
1.8.2	Forces de surface	17
1.9	Applications	17
2	Statique des fluides	27
2.1	Introduction	27
2.2	Pression d'un fluide	27
2.3	Équation fondamentale de la statique des fluides	30
2.4	Statique des fluides incompressibles - Hydrostatique	32
2.5	Forces hydrostatiques sur les surfaces immergées	36
2.5.1	Force de pression d'un liquide sur une surface plane	37
2.5.2	Force de pression d'un liquide sur une surface courbe	41
2.5.3	Principe d'Archimède	42
2.5.4	Stabilité des corps flottants et des corps submergés	44
2.6	Statique des fluides compressibles	46
2.7	Applications	48
3	Cinématique des fluides	73
3.1	Introduction	73
3.2	Description du mouvement	73
3.2.1	Description de Lagrange et trajectoire d'une particule	74
3.2.2	Description d'Euler et ligne de courant	75
3.2.3	Types d'écoulement	77
3.3	Conservation de la masse - Équation de continuité	78
3.4	Écoulement plan - fonction courant et potentiel des vitesses	81
3.5	Potentiel complexe d'un écoulement plan	85
3.6	Étude locale du champ des vitesses - Rotation et déformation	88
3.6.1	Tenseur des taux de déformation $\overline{\overline{D}}$	89
3.6.2	Tenseur des rotations $\overline{\overline{\Omega}}$	93

3.7	Applications	95
4	Dynamique des fluides parfaits	121
4.1	Introduction	121
4.2	Conservation de l'énergie - Équation de Bernoulli	121
4.2.1	Équation de l'énergie	124
4.2.2	Hauteur de charge due à la vitesse	125
4.2.3	Ligne de charge et ligne piézométrique	126
4.2.4	Puissance et rendement	127
4.3	Dérivation particulaire	128
4.3.1	Dérivée particulaire d'une fonction scalaire	128
4.3.2	Dérivée particulaire d'une fonction vectorielle	129
4.3.3	Dérivée particulaire d'une intégrale de volume	130
4.4	Conservation de la quantité de mouvement - Équation d'Euler	131
4.5	Forces exercées par les fluides en mouvement - Théorème d'Euler	135
4.5.1	Trainée et portance	140
4.5.2	Coup de bélier	141
4.6	Applications	143
5	Dynamique des fluides réels	173
5.1	Introduction	173
5.2	Équation de l'énergie pour un fluide quelconque	173
5.2.1	Écoulement des fluides incompressibles	175
5.2.2	Écoulement des fluides compressibles	176
5.3	Équations de Navier-Stokes	177
5.3.1	Tenseur des contraintes dans un fluide visqueux	178
5.3.2	Principe fondamental de la dynamique	180
5.3.3	Fluide newtonien - Équations de Navier-Stokes	181
5.3.4	Résolution d'écoulements unidirectionnels	182
5.4	Écoulements dans des conduits fermés	187
5.4.1	Écoulement laminaire	188
5.4.2	Écoulement turbulent	189
5.4.3	Contrainte visqueuse et distribution des vitesses	190
5.5	Écoulements dans des canaux ouverts	193
5.5.1	Écoulement uniforme	194
5.5.2	Écoulement laminaire	196
5.5.3	Débit et perte de charge	197
5.5.4	Énergie spécifique et profondeur critique	197
5.5.5	Ressaut hydraulique et mascaret	199
5.5.6	Distribution verticale des vitesses	202

5.6	Théorie de la couche limite	203
5.6.1	Couche limite laminaire	204
5.6.2	Couche limite turbulente	205
5.6.3	Couche limite en transition	205
5.7	Applications	206
6	Analyse dimensionnelle et similitude	245
6.1	Analyse dimensionnelle	245
6.2	Similitude	258
6.2.1	Similitude géométrique	258
6.2.2	Similitude cinématique	258
6.2.3	Similitude dynamique	259
6.3	Applications	261