

Redhouane GHERNAOUT

COURS ET EXERCICES

Mécanique des Fluides et Hydraulique

COURS ET EXERCICES

OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES



TABLE DES MATIERES

Historique de la mécanique des fluides.....	13
CHAPITRE I : INTRODUCTION.....	19
I.1 Objet et définition de la mécanique des fluides.....	19
I.2 Définition d'un fluide.....	20
I.3 Dimensions et unités.....	20
I.4 Propriétés des liquides.....	23
I.4.1 La densité.....	24
I.4.2 La viscosité.....	25
I.4.3 La tension superficielle - La capillarité.....	31
I.4.4 La pression de vapeur.....	36
I.4.5 La compressibilité.....	36
I.4.6 La dilatation.....	37
I.5 Propriétés des gaz.....	38
CHAPITRE II : STATIQUE DES FLUIDES	
«HYDROSTATIQUE».....	43
II.1 Introduction.....	43

II.2 Direction d'une force de pression en équilibre des liquide..	43
II.3 Pression en un point d'un fluide.....	45
II.4 Equation de l'hydrostatique.....	47
II.4.1 Hydrostatique dans le champ gravitationnel terrestre...	49
II.4.1.1 Surface isobare.....	54
II.4.1.2 Mesure de la pression.....	55
II.4.1.2.1 Appareils à liquide.....	55
II.4.1.2.2 Appareils mécaniques.....	62
II.4.1.3 Représentation graphique de la pression.....	64
II.4.1.4 Les vases communicants.....	66
II.4.1.5 Principe de Pascal.....	68
II.4.2 Force de pression hydrostatique.....	71
II.4.2.1 Force hydrostatique sur une surface plane.....	72
II.4.2.1.1 Intensité de la force.....	72
II.4.2.1.2 Centre de poussée.....	74
II.4.2.2 Force hydrostatique sur une surface courbe.....	87
II.4.2.2.1 Intensité de la force.....	87
II.4.2.2.2 Centre de poussée.....	89
II.4.3 Hydrostatique dans d'autres champs de force.....	100

II.4.3.1	Champ de pesanteur avec accélération constante....	101
II.4.3.2	Champ de pesanteur avec rotation uniforme.....	103
II.4.4	Flottement des corps dans un liquide.....	109
II.4.4.1	Principe d'Archimède.....	109
II.4.4.2	Condition de flottement des corps.....	111
II.4.4.3	Stabilité des corps flottants.....	116
II.4.4.3.1	En cas d'un flottement en plongé.....	116
II.4.4.3.2	En cas d'un flottement de surface.....	117
II.4.4.4	Evaluation du rayon métacentrique r	118
CHAPITRE III : CINEMATIQUE DES FLUIDES		
	«HYDROCENIMATIQUE»	125
III.1	Régimes d'écoulement du liquide.....	125
III.1.1	Écoulement permanent.....	125
III.1.2	Écoulement non permanent.....	126
III.1.3	Écoulement uniforme.....	126
III.1.4	Écoulement non uniforme.....	126
III.1.5	Écoulement tridimensionnel, bidimensionnel, unidimensionnel.....	127
III.2	Description des configurations d'un écoulement.....	127
III.2.1	Lignes de courant.....	127

III.2.2 Trajectoire.....	128
III.2.3 Tube de courant, filet liquide, courant liquide.....	129
III.3 Débit volumique et débit massique.....	130
III.3.1 Débits pour une vitesse constante $\perp$ à la section.....	131
III.3.2 Débits pour une vitesse variable $\perp$ à la section	131
III.3.3 Débits dans le cas où la section $\perp$ vecteur vitesse	132
III.4 Mouvement d'un fluide.....	134
III.4.1 Méthode de Lagrange.....	135
III.4.2 Méthode d'Euler.....	135
III.4.2.1 Accélération dans un écoulement unidimensionnel.....	137
III.5 Approche du volume de contrôle.....	140
III.6 Equation de continuité «équation de volume de contrôle»	141
III.7 L'équation de continuité dans une autre forme.....	146
III.8 Mouvement de la particule fluide.....	149
III.8.1 Mouvement de translation.....	149
III.8.2 Mouvement de rotation.....	150
III.8.3 Mouvement de déformation.....	151
III.9 Ecoulement plan à potentiel des vitesses.....	155
III.9.1 Remarques préliminaires.....	155
III.9.2 Conditions de potentialité du mouvement.....	156
III.9.3 Potentiel des vitesses ϕ	156
III.9.4 Fonction de courant ψ	158

III.9.5 Sens physique de la fonction de courant Ψ	160
III.9.6 Relation analytique entre ϕ et Ψ	161
III.9.7 Relation géométrique entre ϕ et Ψ	162
III.9.8 Potentiel complexe	168
CHAPITRE IV : DYNAMIQUE DES FLUIDES «HYDRODYNAMIQUE»	175
IV.1 Equations générales de la dynamique des fluides parfaits	175
IV.2 Equations d'Euler dans les directions tangentielle et normale à la ligne de courant « Ecoulement unidimensionnel ».....	179
IV.3 Intégration des équations d'Euler « établissement de l'équation de Bernoulli ».....	180
IV.3.1 Intégration de l'équation d'Euler dans la direction tangentielle.....	180
IV.3.2 Intégration de l'équation d'Euler dans la direction normale.....	182
IV.4 Interprétation de l'équation de Bernoulli.....	183
IV.4.1 Interprétation géométrique.....	183
IV.4.2 Interprétation énergétique.....	185
IV.5 Théorème de Bernoulli.....	185
IV.6 Equations générales de la dynamique des fluides réels...	185
IV.7 Equation de Bernoulli pour les fluides réels.....	191
IV.8 Facteur de correction de l'énergie cinétique.....	193

IV.9 Principe de la quantité de mouvement.....	208
IV.10 Equation de la quantité de mouvement.....	209
IV.11 Facteur de correction de l'impulsion.....	211

CHAPITRE V : ECOULEMENT DANS LES CONDUITES.....221

V.1 Régimes d'écoulement des fluides.....	221
V.2 Ecoulement laminaire dans les conduites.....	226
V.2.1 Répartition de la contrainte tangentielle.....	226
V.2.2 Répartition de vitesse.....	228
V.2.3 Débit volumique et vitesse moyenne.....	229
V.3 Ecoulement turbulent dans les conduites.....	232
V.3.1 Equations de Reynolds	232
V.3.2 Répartition de vitesse.....	235
V.3.2.1 Tensions de Reynolds.....	235
V.3.2.2 Longueur de mélange.....	238
V.3.2.3 Distribution de vitesse.....	240
V.4 Pertes de charge «types de résistances».....	250
V.5 Pertes de charge linéaires.....	251
V.6 Coefficients de frottement.....	254
V.6.1 Régime laminaire.....	254
V.6.2 Régime turbulent.....	254
V.6.2.1 Ecoulement turbulent lisse.....	255
V.6.2.2 Ecoulement turbulent rugueux.....	256

V.6.2.3 Zone de transition.....	257
V.7 Pertes de charge singulières « locales »	259
V.7.1 Théorème de Borda-Carnot pour un élargissement brusque.....	259

CHAPITRE VI: SIMILITUDE DES ECOULEMENTS ET ANALYSE DIMENSIONNELLE.....275

VI.1 Introduction.....	275
VI.2 Types de similitudes.....	276
VI.2.1 Similitude géométrique.....	276
VI.2.2 Similitude cinématique.....	277
VI.2.3 Similitude dynamique.....	278
VI.3 Introduction à l'analyse dimensionnelle.....	286
VI.4 Principe de l'homogénéité dimensionnelle.....	286
VI.5 Application de l'analyse dimensionnelle.....	287
VI.5.1 Théorème de Buckingham-pi.....	288