

MÉCANIQUE DES FLUIDES

Applications :
vérins, pompes,
turbines, CTA,
éoliennes

François Martin



Table des matières

CHAPITRE 1 : Statique des fluides.....	1
1. La notion de pression.....	1
1.1. Le cas d'un solide homogène posé sur un plan horizontal.....	1
1.2. Pression en un point d'un liquide.....	3
1.3. Pression en un point d'un gaz.....	6
1.4. Le manomètre.....	8
1.5. Equation d'état caractérisant un fluide au repos.....	10
2. La relation fondamentale de la statique des fluides.....	14
2.1. Le cas d'un liquide.....	14
2.2. La surface libre d'un liquide à l'atmosphère.....	16
2.3. Applications simples.....	18
2.4. La relation fondamentale de la statique appliquée à un gaz.....	24
3. Les forces pressantes exercées par un liquide au repos.....	26
3.1. Expression générale des forces pressantes sur les parois.....	26
3.2. Force pressante exercée sur une paroi verticale ; barrage poids.....	30
3.3. Force pressante exercée sur une paroi inclinée ; barrage à contrefort.....	38
3.4. Force pressante exercée sur une paroi cylindrique ; barrage voûte.....	41
3.5. Quelques applications sous la forme d'exercices.....	44
4. La poussée d'Archimède, applications.....	49
4.1. Etude de la poussée d'Archimède dans un liquide.....	49
4.2. Le comportement d'un corps dans un liquide.....	50
4.3. Quelques applications de la poussée d'Archimède dans un liquide.....	53
4.4. La poussée d'Archimède dans l'air : le cas des aérostats.....	56
CHAPITRE 2 : Les vérins.....	61
1. Présentation et propriétés.....	61
1.1. Description.....	61
1.2. Les trois types de technologie.....	63
1.3. Les applications industrielles.....	63
1.4. Les caractéristiques d'un vérin.....	66
1.5. Les forces mises en jeu dans un vérin.....	67

2. Les vérins pneumatiques	71
2.1. La centrale d'air comprimé	71
2.2. La prise d'air au niveau de l'utilisateur	74
2.3. Le vérin simple effet	76
2.4. Le limiteur de pression	87
2.5. Le vérin double effet	91
3. Les vérins hydrauliques.....	97
3.1. Alimentation du vérin	97
3.2. Propriétés des vérins	98
3.3. Les pompes	104
CHAPITRE 3 : L'écoulement permanent d'un liquide parfait	115
1. Le modèle du liquide parfait.....	115
1.1. Les forces exercées par un liquide	115
1.2. Le modèle du liquide parfait dans une canalisation	116
1.3. Les débits	117
1.4. Energie d'un liquide.....	117
1.5. La variation de l'énergie d'un liquide au cours de son écoulement	119
1.6. La variation d'énergie d'un liquide parfait	122
2. Liquide parfait en écoulement	123
2.1. Les conditions d'étude (rappel).....	123
2.2. Le théorème de Bernoulli	123
2.3. Deux applications importantes	124
2.4. Quelques exercices simples.....	127
3. Mesures élémentaires de la pression et du débit.....	131
3.1. Quelques particularités.....	131
3.2. Mesure de la pression : le tube piézométrique	132
3.3. La mesure de débit	132
4. Le risque de cavitation, les coups de Bélier	136
4.1. La cavitation.....	136
4.2. Les coups de Bélier	136
5. Action d'un liquide en écoulement sur une canalisation.....	137
5.1. Relation fondamentale de la dynamique appliquée au liquide.....	137
5.2. Le théorème d'Euler.....	139
5.3. Action sur une partie coudée d'une canalisation horizontale.....	140
5.4. Action d'un jet d'eau sur la canalisation par lequel il sort.....	141

CHAPITRE 4 : L'écoulement permanent d'un liquide réel	143
1. Ecoulement laminaire, écoulement turbulent	143
1.1. L'écoulement laminaire	143
1.2. L'écoulement turbulent	144
2. Etude expérimentale de l'écoulement d'un liquide	145
2.1. Ecoulement d'un liquide dans une canalisation	145
2.2. Ecoulement d'un liquide autour d'un obstacle	147
3. Ecoulement laminaire dans une canalisation droite	151
3.1. Objectif	151
3.2. Le cas d'une canalisation à section rectangulaire	152
3.3. Ecoulement de Poiseuille dans une canalisation cylindrique	158
4. Ecoulement turbulent dans une canalisation droite	164
La canalisation est horizontale de section constante	164
4.1. Description	164
4.2. Chute de la pression le long de la canalisation	164
4.3. Différentes expressions du coefficient $\lambda(\Re, kD)$	168
4.4. La formule de Lechapt et Calmon	173
5. Influence d'une modification de la forme d'une canalisation	176
5.1. Modification de la direction d'une canalisation de section constante	176
5.2. Modification de la section d'une canalisation	178
5.4. Généralisation : variation d'énergie d'un liquide	185
 CHAPITRE 5 : Les pertes d'énergie dans une installation hydraulique	 187
1. Le théorème de Bernoulli appliqué à un fluide réel	188
1.1. Le modèle utilisé (Rappel)	188
1.2. Le théorème de Bernoulli	188
1.3. Puissance hydraulique perdue	189
2. Perte de charge linéaire	190
2.2. Détermination de la valeur coefficient de perte de charge linéaire	190
2.3. Abaques pour différents types de canalisation	193
2.4. Utilisation de la formule de Lechapt et Calmon pour de l'eau	195
3. Les pertes de charge singulière	196
3.1. Les singularités	196
3.2. Quelques exemples	197
3.3. Perte de charge en longueur équivalente de canalisation linéaire	198
4. La perte de charge totale dans une installation	203
4.1. Perte de charge totale en fonction du débit volumique	203
4.2. Applications	204

CHAPITRE 6 : Les pompes.....	207
1. Propriétés générales d'une pompe industrielle	207
1.1. Energie à fournir à un liquide en écoulement	207
1.2. Propriétés générale d'une pompe	210
1.3. Le point de fonctionnement d'une pompe.....	213
1.4. Les deux grandes familles de pompes.....	220
2. Les pompes centrifuges	223
2.1. Le principe de fonctionnement.....	223
2.2. Caractéristique $H_{MT} = f(q_{vol})$ à vitesse constante.....	224
2.3. Facteurs modifiant la caractéristique d'une pompe.....	225
2.4. Le problème du risque de cavitation dans une pompe centrifuge	227
2.5. Quelques généralités sur la conception d'une installation	228
2.6. Choix d'une pompe pour le stockage d'eau dans un réservoir.....	229
2.7. Choix d'une pompe pour le prélèvement de l'eau dans le sol.....	235
2.8. L'intérêt d'une pompe centrifuge : le réglage du débit	236
2.9. Pompe centrifuge alimentant des circuits hydrauliques en parallèle.....	249
2.10. Ebauche de l'étude du circuit de chauffage d'une habitation.	262
3. Les pompes volumétriques	274
3.1. Les principales propriétés	274
3.2. Les pompes alternatives ou pompes à pistons.....	275
3.3. Les pompes rotatives.....	279
3.4. Les pompes à vis d'Archimède	282
4. Le thermosiphon	285
4.1. Le principe du thermosiphon	285
4.2. Le chauffe-eau solaire à "thermosiphon"	286
CHAPITRE 7 Les turbines.....	291
1. Présentation générale	291
2. La turbine dans son environnement.....	294
2.1. Le schéma général.....	294
2.2. Puissance hydraulique disponible	294
2.3. Analyse énergétique de l'interaction eau en écoulement-turbine	297
2.4. Influence du changement de la vitesse de rotation d'une turbine	304
2.5. Caractéristiques mécaniques d'une turbine.....	305
2.6. L'interaction turbine-génératrice.....	310
2.7. Etude d'une microcentrale au fil de l'eau	315

3. Etude simplifiée d'une turbine : la turbine Pelton	321
3.1. Présentation de la turbine	321
3.2. Transmission de la puissance hydraulique dans une turbine Pelton	321
3.3. Le couple de force hydraulique agissant sur la turbine	327
3.4. Le risque de cavitation dans la conduite gravitaire	329
4. Le choix d'une turbine	332
4.1. Turbines à action, turbines à réaction.....	332
4.2. Le choix d'une turbine	336
4.3. Méthode graphique du choix d'une turbine	340
4.4. Quelques relations particulières	343
5. Applications.....	345
5.1. Microcentrale à une basse chute.....	345
5.2. Projet d'installation d'une petite centrale hydroélectrique.....	349
5.3. Microcentrale sur une rivière utilisant une vis d'Archimède	357
Chapitre 8 : L'air considéré comme un fluide incompressible	365
1. Circulation forcée de l'air dans des conduites	366
1.1. La ventilation forcée dans les lieux de vie	366
1.2. L'air considéré comme un fluide incompressible	370
1.3. L'air fluide incompressible en écoulement	371
1.4. Les ventilateurs	379
1.5. Dimensionnement élémentaire d'une VMC double flux	381
2. Les éoliennes.....	389
2.1. Ecoulement de l'air et effet Venturi.....	389
2.2. Force de traînée, force de portance	397
2.3. Aérodynamisme d'une aile ou d'une pale (notions).....	404
2.4. Energie, puissance.....	410
2.5. Estimation de l'énergie éolienne disponible	423
3. Quelques types d'éoliennes	429
3.1. Les deux catégories d'éoliennes.....	429
3.2. Les éoliennes à axe horizontal	430
3.3. Eoliennes à axe de rotation verticale.....	454
Index.....	461