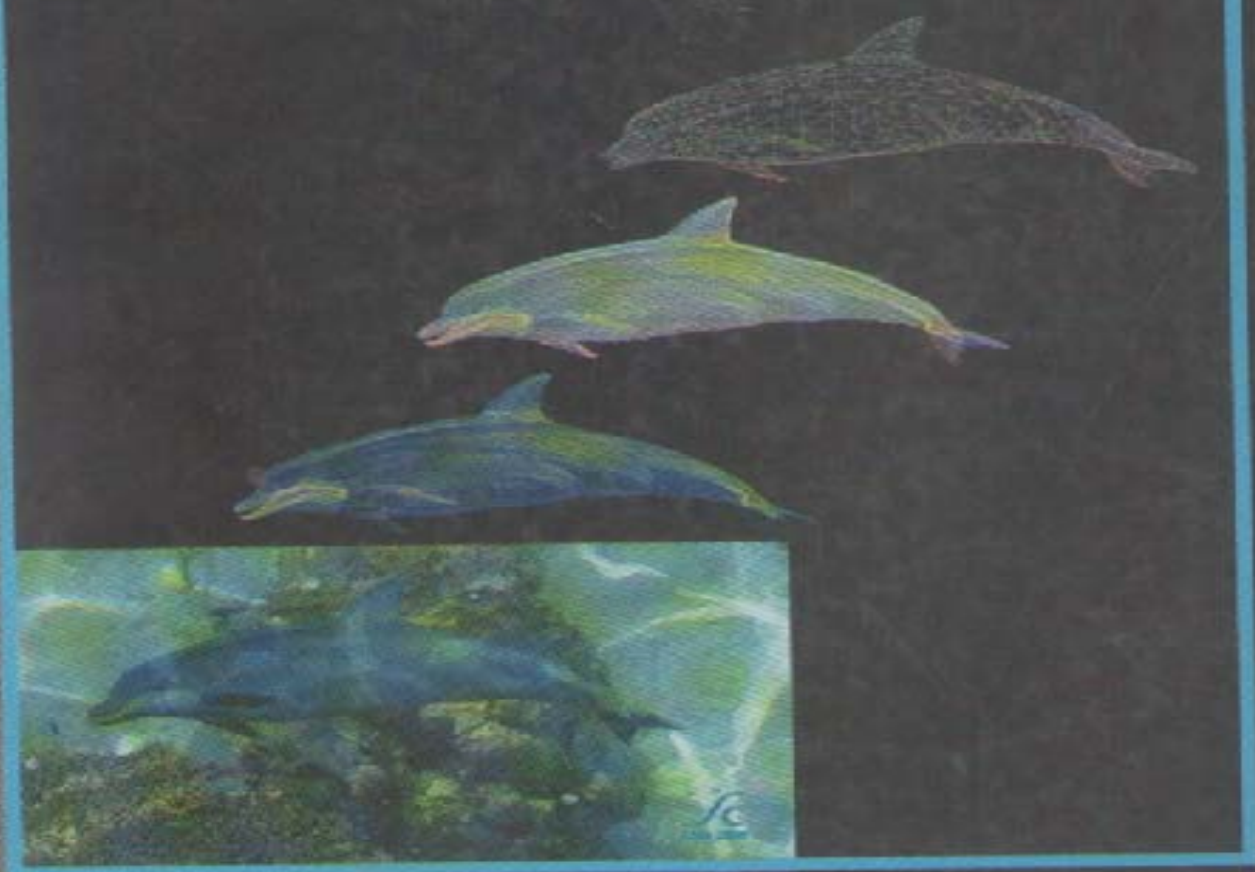


Pierre Henri COMMUNAY

LA MÉCANIQUE DES FLUIDES

DYNAMIQUE DE VIE



GROUPE DE RECHERCHE ET D'ÉDITION

2-532-40-1

Pierre Henri COMMUNAY

LA
MÉCANIQUE DES FLUIDES
DYNAMIQUE DE VIE



GROUPE DE RECHERCHE ET D'ÉDITION

MÉCANIQUE DES FLUIDES

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE : STATIQUE DES FLUIDES

01 - Introduction	7
02 - Densités absolue et relative. Masse et poids volumiques	9
- Densité absolue ou masse volumique	9
- Densité relative	11
03 - Forces de pression dans un fluide en équilibre	15
- Forces exercées par un fluide sur la paroi du contenant	15
- Forces exercées sur un corps immergé dans un fluide immobile ..	17
- Pression hydrostatique à l'intérieur d'un fluide au repos	18
- Force de pression exercée sur une paroi de forme quelconque	19
- Le gradient de pression	22
- Pression sanguine ou tension artérielle	24
- Exercices	26
3.1 : Analyse dimensionnelle	26
3.2 : L'unité kilogramme-force par centimètre carré	27
3.3 : Lecture du sphygmomanomètre	27
3.4 : Compression d'un fluide	28
3.5 : Pression dans un vaisseau sanguin	28
04 - Le principe fondamental de la statique des fluides	31
- Forces exercées sur une surface fermée	31
- Forme différentielle du principe fondamental	33
- Le principe fondamental et la relation du gradient	33
- Exercices	36
4.1 : La plongée en apnée	36
4.2 : Le gradient de pression	37
4.3 : Variation de la pression artérielle	38
4.4 : Force de pression exercée sur une paroi plane	38
4.5 : Forces de pression exercées sur une surface ouverte ...	41
4.6 : Forces de pression exercées sur une surface fermée	42

4.7 : Modélisation d'un utérus artificiel	44
4.8 : Force de pression exercée sur un cube	47
4.9 : Force de pression exercée sur un demi-cylindre	48
05 - Le principe de Pascal	51
- Principe d'égalité de pression	51
- La pression ne dépend pas de la forme du récipient	53
- Le tourniquet hydraulique	53
- Le paradoxe hydrostatique	54
- La presse hydraulique	56
- Exercices	57
5.1 : Élévateur hydraulique	57
5.2 : Vérin hydraulique	57
5.3 : Vérin hydraulique (suite)	58
5.4 : Vérin hydraulique (suite et fin)	60
06 - Le principe fondamental et les fluides compressibles	61
- Équation d'état des gaz parfaits	61
- Fluide compressible isotherme	62
- Fluide compressible non isotherme	63
- La pression atmosphérique	64
- Pression atmosphérique et chauves-souris	66
- Exercices	67
6.1 : Masse d'un volume de gaz	67
6.2 : Volume d'un gaz après détente	68
6.3 : Pression, latitude et altitude d'un lieu	68
6.4 : Pression et masse volumique	70
6.5 : Pression et détente adiabatique	71
6.6 : Pression et température	72
07 - Procédés de mesure des pressions	75
- Mesure de la pression atmosphérique : le baromètre	75
- Mesure de la pression des gaz : le manomètre	77
- Mesure du vide : la jauge de MacLeod	79
- Mesure de la pression artérielle ou veineuse : le cathéter	81

- Mesure de la pression artérielle : le sphygmomanomètre	82
- La tonométrie oculaire	84
- Exercices	86
7.1 : Le baromètre à cuvette	86
7.2 : Le manomètre à tube ouvert	88
7.3 : Le manomètre à eau	89
7.4 : Le manomètre à deux liquides	91
7.5 : Le manomètre hydrostatique	91
7.6 : Fluide sans contact avec le manomètre	92
7.7 : Le manomètre utilisé en détecteur de fuite	93
7.8 : Le manomètre différentiel	95
88 - Le principe d'Archimède	99
- Quelques extraits du <i>Traité des corps flottants</i> d'Archimède	100
- Poussée subie par un corps immergé dans un fluide	100
- Vérification expérimentale	102
- Applications de la poussée d'Archimède	102
- Phénomènes de roulis et de tangage observés en navigation	103
- Mesure de la densité relative d'un corps	104
- Balance de précision	106
- Exercices	107
8.1 : Partie immergée d'un iceberg	107
8.2 : Densité d'un corps à partir du poids dans deux fluides .	107
8.3 : Densité d'un corps flottant entre deux fluides	108
8.4 : Mesure de la densité d'un corps par flottaison	110
8.5 : Initialisation de la poussée hydrostatique	112
8.6 : Mesure de la masse d'un corps par flottaison	114
8.7 : Mesure du titre d'un alliage par flottaison	116
8.8 : Sensibilité du densimètre	118
8.9 : L'aréomètre utilisé en contrôle des fraudes	120
89 - Les tensions superficielles	123
- Origine du phénomène	123
- Tensions superficielles exercées le long du périmètre d'un film . .	124

- Mise en évidence des tensions superficielles	124
- Mesure du coefficient de tension superficielle	126
- Tensions superficielles dans un film liquide de surface fermée	129
- Autre démonstration de la loi de Laplace	134
- La loi de Laplace et la fonction respiratoire	136
- Les paramètres actifs de la tension superficielle	139
- Exercices	139
9.1 : Tension superficielle et température	139
9.2 : Mesure du coefficient de tension superficielle	140
9.3 : Surpression à l'intérieur d'une bulle de savon	141
9.4 : Surpression à l'intérieur d'une goutte d'eau	141
10 - La théorie des surfaces minimales	143
- Principe du travail virtuel	143
- Considérations mathématiques sur les films de savon	146
- Propriétés angulaires des surfaces minimales	150
- Le problème de Steiner	150
- Surfaces minimales périodiques	151
- Une surface minimale particulière	152
- La forme hexagonale et le principe de l'économie de moyens	155
- Exercices	158
10.1 : Courbure d'une droite	158
10.2 : Courbure d'un cercle	158
10.3 : Courbure d'une parabole	159
10.4 : Problème de Steiner à quatre points	160
10.5 : L'économie de moyens et les nids d'abeilles	162
11 - Les forces de capillarité	165
- Déformation des surfaces liquides	165
- Lois de l'ascension capillaire des liquides	166
- Lois de la dépression capillaire	170
- Lois de l'ascension et de la dépression entre deux lames	173
- L'altérabilité de la tension superficielle et les angles de contact	174
- La stalagmométrie	177

- Le phénomène de diffusion	180
- Le phénomène de dialyse	181
- Le phénomène d'osmose	183
- Le phénomène d'absorption	186
- L'ascension de la sève dans les plantes à grand développement ..	187
- Exercices	189
11.1 : Loi de Jurin relative à un tube capillaire	189
11.2 : Loi de Jurin relative à deux lames parallèles	190
11.3 : Loi de Jurin relative à deux lames non parallèles	192
11.4 : Stalagmométrie	193
11.5 : Insectes aquatiques et tensions superficielles	194
11.6 : Diffusion des molécules d'un parfum	197
11.7 : Phénomène de dialyse	198
11.8 : Phénomène d'osmose	199
11.9 : Les divers processus d'ascension de la sève	205
12 - Procédés de mesure des densités	205
- La méthode de Regnault	205
- La méthode de Bunsen	206
- La méthode de Meyer	206
- La méthode du manomètre	207
- La méthode du flacon	208
- La méthode de l'aréomètre de Fahrenheit	209
- L'aréomètre de Baumé et les concentrations des dissolutions	210
- L'alcoomètre centésimal de Gay-Lussac	212
- Quelques types d'aréomètres à graduations centésimales	212
- Les densimètres	213
- La méthode de la balance hydrostatique	215
- Exercices	217
12.1 : Mesure de la densité du sang humain	217
12.2 : Mesure de la densité de l'huile de naphte	219
12.3 : Étalonnage du mustimètre Dujardin-Salleron	220
12.4 : Étalonnage d'un aréomètre de Baumé	222

SECONDE PARTIE : DYNAMIQUE DES FLUIDES

13 - L'équation de continuité des régimes permanents	227
- Paramètres fondamentaux d'un fluide en mouvement	227
- Les différentes formes du débit	228
- L'équation de conservation de la masse	230
- Exercices	232
13.1 : Débit volumique	232
13.2 : Équation de continuité	232
13.3 : Débit massique	234
13.4 : Débit massique d'un écoulement isovolume	235
13.5 : Écoulement d'un fluide dans un convergent	236
14 - Le théorème de Bernoulli	239
- L'équation de Bernoulli	240
- Les différentes formes de l'équation de Bernoulli	243
- Remarques sur l'équation de Bernoulli	244
- Exercices	246
14.1 : Variation de pression dans un convergent	246
14.2 : Réalisation d'un jet d'eau	247
14.3 : Lutte contre les incendies de forêts	249
14.4 : Vidange d'une cuve par syphonement	251
14.5 : Phénomène de cavitation	252
14.6 : Durée de vidange d'un réservoir à section uniforme ..	254
14.7 : Effets physiologiques de l'accélération	256
14.8 : Perfusion intraveineuse	259
15 - Corollaires du théorème de Bernoulli	263
- Pression dans un fluide immobile	263
- Paradoxe hydrostatique et principe des vases communicants ..	264
- Niveau vrai et niveau apparent	266
- L'hydrogéologie et l'hydrodynamique souterraine	268
- L'équation de Torricelli	269
- Trajectoire d'une balle de golf avec effet dynamique	273

- Poussée d'un réacteur de fusée	275
- Éléments de mécanique du vol	277
- Le vol animal	283
- Exercices	288
15.1 : Réglages des pressions dans un ballon d'eau	288
15.2 : Durée d'autonomie d'une réserve d'eau en pression	289
15.3 : Alimentation en eau d'une locomotive à vapeur	292
15.4 : Vol des avions et des oiseaux	295
15.5 : Loi d'échelle et les ptérosaures du crétacé supérieur	297
15.6 : La loi d'échelle appliquée à l'autruche	298
III - Le théorème d'Euler	301
- Impulsion et quantité de mouvement	301
- Le théorème d'Euler	302
- Autre forme de l'équation d'Euler	303
- Force exercée par un fluide sur la paroi des canalisations	305
- Perte de charge au raccordement de deux conduites	309
- Rotation d'un moulin à aubes sous l'action d'un jet liquide	312
- Exercices	315
16.1 : Force exercée par un fluide sur un raccord coudé	315
16.2 : Énergie dissipée par un fluide sur un épaulement	317
16.3 : Lancement d'un moulin à aubes	312
16.4 : Puissance délivrée par une éolienne d'axe horizontal	318
16.5 : Propulsion des fusées	323
IV - Procédés de mesure des débits	327
- Rappels théoriques	328
- Le tube de Pitot	329
- La sonde de Pitot ou sonde de Prandtl	332
- Le tube de Venturi	334
- Autres types de débitmètres	339
- Exercices	339
17.1 : Tube de Pitot et vitesse d'écoulement	339
17.2 : Tube de Venturi et débit volumique	342

17.3 : Sonde de Pitot à fluide manométrique gazeux	343
17.4 : Sensibilité d'une sonde de Pitot	345
17.5 : Sonde de Prandtl et section d'une artère	348
17.6 : Pressions dynamique, statique et d'arrêt	347

TROISIÈME PARTIE : PHÉNOMÈNES DE VISCOSITÉ

18 - Les fluides newtoniens	351
- L'écoulement laminaire. Loi de Newton	352
- Fluides newtoniens. Fluides non newtoniens	355
- Température, pression et viscosité	356
- La viscosité des solutions macromoléculaires	358
- Les unités de viscosité	359
- Exercices	360
18.1 : Équation aux dimensions de la viscosité	360
18.2 : Transporteur de Bertin sur coussin d'air	360
18.3 : Atterrissage d'avion sur coussin d'air	361
19 - La loi de Poiseuille	363
- Établissement de la loi	363
- Perte de charge	368
- Vitesse moyenne d'un fluide	369
- Puissance dissipée par les forces de viscosité	372
- Exercices	373
19.1 : Mesure d'une perte de charge	373
19.2 : Mesure d'un débit à partir de la perte de charge	374
19.3 : Vitesse moyenne et coefficient de viscosité	374
19.4 : Chute de pression dans l'artère fémorale	375
19.5 : Puissance fournie par métabolisme	376
20 - Observations et lois des écoulements turbulents	379
- Observations du régime turbulent	379
- Résistance à l'avancement dans les fluides incompressibles	380
- Le nombre de Reynolds	381

- La formule de Stokes	384
- Exercices	386
20.1 : Dimensions du nombre de Reynolds	386
20.2 : Régime d'écoulement et nombre de Reynolds	387
20.3 : Variations du nombre N_R en fonction du débit	388
20.4 : Dimensions de la force de résistance visqueuse	389
20.5 : Domaine de validité de la formule de Stokes	390
20.6 : Résistance visqueuse aux grandes vitesses	392
21 - Procédés de mesure de la viscosité	395
- Le viscosimètre de Couette	395
- Le viscosimètre à bille libre	397
- Le viscosimètre capillaire	399
- Quelques viscosimètres particuliers	401
21.1 : Vitesse du fluide dans le viscosimètre de Couette	401
21.2 : Couple exercé dans le viscosimètre de Couette	402
21.3 : Viscosimètre de Couette de type industriel	403
21.4 : Viscosimètre à bille libre	405
21.5 : Viscosimètre capillaire	406
22 - Retour et compléments sur les phénomènes de viscosité	435
- L'effet Magnus	410
- Application de l'effet Magnus. La turbovoile	412
- Vitesse limite d'une particule dans un fluide visqueux	413
- Application de la vitesse limite. Centrifugation	415
- Le système vasculaire et l'écoulement du fluide sanguin	419
- Le phénomène de viscosité et la vie pélagique	425
- Le phénomène de viscosité et la vie alaire	428
- En guise de conclusion. La bionique	428
- Exercices	429
22.1 : Vitesse limite d'une goutte de pluie	429
22.2 : Dimensions de la constante de Svedberg	430
22.3 : Durée de sédimentation	431
22.4 : Mesure de la constante de sédimentation	432

22.5 : Mesure d'une masse moléculaire	433
22.6 : Perte de charge linéaire dans l'aorte	434
22.7 : Réseau parallèle de capillaires	434

ANNEXE

- Formulaire	439
- Puissances et racines	439
- Dérivées des fonctions de base	439
- Intégrales de fonctions rationnelles de base	440
- Intégrales de fonctions irrationnelles de base	440
- Intégrales de base des fonctions exponentielles et logarithmes	440
- Intégrales de fonctions trigonométriques de base	441
- Notation scientifique	441
- Sous-multiples et multiples des unités	442
- Lettres grecques	443
- Quelques valeurs numériques utiles	443
- Relations trigonométriques	444
- Relations trigonométriques de réduction angulaire	444
- Les relations de base de la trigonométrie	444
- Relations de la somme de deux angles	444
- Relations de la somme de trois angles	445
- Relations de la différence de deux angles	445
- Relations liant les somme et différence de deux angles	445
- Relations trigonométriques de l'angle moitié	445
- Relations trigonométriques de l'angle double	445
- Relations trigonométriques de l'angle triple	445
- Relations trigonométriques de l'angle quadruple	446
- Somme de deux fonctions d'angles distincts	446
- Différence de deux fonctions d'angles distincts	446
- Produit de deux fonctions d'angles distincts	446
- Carré d'une fonction trigonométrique	446

- Cube d'une fonction trigonométrique	447
- Puissance 4 d'une fonction trigonométrique	447
- Relations du triangle quelconque	447
- Fonctions trigonométriques d'un angle	447
- Développement en séries de puissances	448
- Binôme à exposant positif	448
- Binôme à exposant négatif	448
- Fonctions trigonométriques	448
- Fonctions exponentielles	449
- Formules d'approximation	449
- Systèmes de coordonnées	450
- Coordonnées cartésiennes	450
- Coordonnées cylindriques	451
- Coordonnées sphériques	452
- Géométrie analytique des équations du premier degré	453
- Équations du premier degré à une inconnue	453
- Équations du premier degré à deux inconnues	453
- Système de deux équations du premier degré à deux inconnues	453
- Géométrie analytique de la droite	455
- Éléments de calcul matriciel	464
- Définition et propriété des déterminants	464
- Résolution d'un système d'équations linéaires	465
- L'intégration de surface	469
- Les microstructures du calcul intégral	469
- Les relations fondamentales des transformations intégrales	470
- Les intégrales doubles	472
- Signification géométrique de l'intégrale	473
- L'intégrale double en coordonnées cartésiennes	473
- L'intégrale double en coordonnées polaires	475
- Projection des surfaces gauches	477
- Le gradient d'une fonction scalaire	479
- Rappels sur le concept vectoriel	479

- Gradient d'une fonction scalaire	482
- Flux d'un vecteur. Divergence	485
- Définition du flux d'un vecteur	485
- Expression mathématique du flux d'un vecteur	485
- Surface fermée	487
- Le théorème de la divergence	487
- Propriétés de la divergence d'un vecteur	492
- Quelques expressions de la divergence	493
- Règles de calcul de la divergence	493

INDEX GÉNÉRAL

- Références A, B, C	497
- Références D, E	498
- Références F, G	499
- Références H, I, J, L, M	500
- Références N, O, P	501
- Références R	502
- Références S, T	503
- Références U, V	504

MÉCANIQUE DES FLUIDES

Pierre Henri COMMUNAY

Le lecteur

- Étudiant en premier et second cycles universitaires de Physique ou des Sciences de la vie.
- Enseignant de Physique ou de Biologie.
- Étudiant de BTS et d'IUT.
- Étudiant en formation pré médicale, en zoologie, en botanique...

L'ouvrage

De lecture aisée et dans un environnement pédagogique soigné, l'ouvrage propose une étude de la Statique et de la Dynamique des fluides ainsi que des phénomènes de Viscosité. L'application des modèles classiques de la technologie moderne à l'univers fascinant des mécanismes vitaux confère à cette étude un intérêt tout particulier.

Chacun des chapitres – l'ouvrage en comporte vingt-deux, agrémentés de plus de trois cents dessins de l'auteur – se termine par une série d'exercices d'application présentant systématiquement une solution développée et finie. Le lecteur peu familier avec l'outil mathématique pourra se reporter aux rappels et approfondissements utiles exposés en Annexe.

L'auteur



Pierre Henri COMMUNAY, docteur ès sciences, a effectué des travaux de recherche en France dans le domaine de l'optique corpusculaire, au Canada dans la physique des plasmas et, au Maroc, dans le domaine de l'énergétique solaire.

La diversité de son public universitaire et l'éventail de ses recherches sont, vraisemblablement, à l'origine de cet exposé original, clair et concis, tout au long duquel l'auteur, recourant à une pédagogie éprouvée, se complait à mêler la logique latine au pragmatisme anglo-saxon.