

COURS
DE
MÉCANIQUE
THÉORIQUE ET APPLIQUÉE

A L'USAGE
DES INGÉNIEURS ET DES ÉTUDIANTS DE FACULTÉS
PROFESSÉ A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PAR

Henri BEGHIN

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PROFESSEUR HONORAIRE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS
PROFESSEUR HONORAIRE A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Préface du Général BRISAC

COMMANDANT L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

TOME I



PARIS

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-ÉDITEUR

LIBRAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE
Quai des Grands-Augustins, 55

—
1952

Préface de l'auteur

Chapitre I

COMPLEMENT CONCERNANT LA DYNAMIQUE DU SOLIDE

- 1 - Rappel des résultats établis dans le tome 1
- 2 - Pendule composé
- 3 - Pendule balistique
- 4 - Mouvement autour d'un point fixe. Problème de Poinsot
- 5 - Stabilité de la rotation autour d'un axe principal
- 6 - Application au mouvement d'un solide libre
- 7 - Mouvement d'un solide pesant autour d'un point fixe
- 8 - Cas de Lagrange et de Poisson
- 9 - Calcul approché de la nutation et de la précession dans le cas d'une grande rotation propre
- 10 - Calcul de la réaction du point fixe
- 11 - Toupie mobile sur un plan horizontal fixe

Chapitre II

LE GYROSCOPE - EFFET GYROSCOPIQUE APPLICATIONS INDUSTRIEL

- 12 - Gyroscope
- 13 - Applications élémentaires
- 14 - Culbuteur de Hardy
- 15 - Influence des forces de frottement
- 16 - Gyroscope de Sire
- 17 - Précession des équinoxes
- 18 - Forces gyroscopiques. Energie apparente (Kelvin et Tait)
- 19 - Systèmes dominés gyrostatiquement. Théoreme du travail
- 20 - Exemples
- 21 - Etude des appareils gyroscopiques a l'aide des équations de Lagrange ...
- 22 - Autre méthode d'application des équations de Lagrange
- 23 - Applications
- 24 - Lancement de corps avec rotation
- 25 - Pierres plates en rotation
- 26 - Phénomènes gyroscopiques à bord des voitures, des navires, des avions ..
- 27 - Effet gyroscopique des projectiles d'artillerie. Déviation - Dérivation
- 28 - Applications industrielles du gyroscope
- 29 - Indicateur de virage
- 30 - Détermination de la verticale. Compas zénithal.....
- 31 - Influence de la rotation de la terre sur un gyro
- 32 - Application : Gyroscope de Foucault
- 33 - Application. Correction à apporter aux indications d'un gyropendule par rotation de la terre
- 34 - Détermination du méridien. Compas gyroscopique méridien (ou gyrocompas)
- 35 - Stabilisation à l'aide d'un gyroscope

Chapitre III

ENERGIE - APPLICATION AUX MACHINES

36 - Notion d'énergie	67
37 - Remarque	69
38 - Changement du système de référence	69
39 - Courants électriques	70
40 - Sources d'énergie	70
41 - Solides invariables	71
42 - Fluides compressibles	71
43 - Solides élastiques	73
44 - Application aux machines	74
45 - Rendement industriel. Rendements partiels	75

Chapitre IV

REGULARISATION DU MOUVEMENT D'UNE MACHINE

46 - Courbes caractéristiques d'une machine	77
47 - Théorie élémentaire des volants	78
48 - Calcul d'un volant	79
49 - Cas d'une machine mobile	81
50 - Régulateurs	81
<u>Exercices proposés sur les chapitres I à IV</u>	87

Chapitre V

ETUDE GEOMETRIQUE ET CINEMATIQUE DES MILIEUX CONTINUS

51 - Déplacement fini des éléments d'un milieu continu. Déformations	95
52 - Dilatations linéaires. Dilatations angulaires	97
53 - Déplacement infiniment petit d'un milieu continu. Déformation	98
54 - Mouvement continu d'un corps déformable. Vitesses. Variables de Lagrange. Variables d'Euler	101

Chapitre VI

TENSIONS INTERIEURES. EQUATIONS DE L'EQUILIBRE ET DU MOUVEMENT DES MILIEUX CONTINUS

55 - Définitions	105
56 - Etude des tensions dans le voisinage d'un point	105
57 - Equations de l'équilibre et du mouvement d'un milieu continu	108
58 - Théorèmes du travail virtuel et de la force vive	109

Chapitre VII

EQUILIBRE DES FLUIDES

59 - Généralités	113
60 - Equilibre des fluides	113
61 - Pressions d'un liquide pesant sur une surface immergée	116
62 - Equilibre des corps flottants	117

Chapitre VIII

MOUVEMENT DES FLUIDES PARFAITS

63 - Généralités	123
64 - Transformation des équations du mouvement. Mouvements particuliers	124
65 - Conservation de la circulation et du flux tourbillonnaire dans les fluides sans viscosité. Théorème de Lagrange. Mouvements rotationnels, irrotationnels	125
66 - Lignes et surfaces tourbillons (Helmholtz)	127
67 - Mouvement rapporté a des coordonnées curvilignes	128
68 - Application au mouvement de révolution d'un liquide incompressible	130
69 - Théorème d'Euler sur les quantités de mouvement	131
70 - Mouvements permanents (stationnaires). Filets fluides	132
71 - Théorème de Bernoulli et force vive	132
72 - Le théorème de Bernoulli et le mouvement relatif	132
73 - Notion technique d'énergie d'une masse fluide en mouvement permanent	133
74 - Ecoulement d'un liquide pesant	135
75 - Application aux turbines hydrauliques	136
<u>Ecoulement des gaz et des vapeurs</u>	142
76 - Tuyères	142
77 - Principe des turbines a vapeur	146

Chapitre IX

LES MOUVEMENTS IRRATIONNELS D'UN FLUIDE INCOMPRESSIBLE ET L'EQUATION DE LAPLACE

78 - Conditions aux limites	151
79 - Mouvement giratoire simple. Mouvement irrotationnel de révolution	153
80 - Sources et doublets	155
81 - Images	157
82 - Développement des potentiels dans les mouvements irrotationnels. Fluides s'étendant à l'infini	158
83 - Solide immobile dans un fluide incompressible animé d'un courant uniforme a l'infini. Paradoxe de d'Alembert	159
84 - Cas des fluides compressibles (approximation)	161
85 - Applications	162
86 - Notions historiques sur la résistance des fluides	163

Chapitre X

MOUVEMENT PLAN IRRATIONNEL D'UN FLUIDE PARFAIT INCOMPRESSIBLE. POTENTIEL COMPLEXE. VITESSE COMPLEXE. REPRESENTATION CONFORME

88 - Courant uniforme de vitesse U, V	166
89 - Source ponctuelle de flux F - Tourbillon ponctuel de circulation τ	167
90 - Tracé approché de lignes de courant et de lignes équipotentielles	168
91 - Mouvement défini par le potentiel (fig. 76)	168
92 - Généralités sur les potentiels complexes. Poles et points singuliers essentiels. Potentiel complexe à l'infini	169
93 - Exemple. Mouvement plan irrotationnel d'un liquide incompressible autour d'un cylindre circulaire fixe plongé dans un courant uniforme à l'infini	170
94 - Pression subie par le cylindre (mouvement stationnaire)	171
95 - Théorème de Blasius (1908)	173
96 - Théorème de Kutta Joukowski	174
97 - Représentation conforme et mécanique des fluides	175
98 - Exemple. Transformation de Joukowski	177

Chapitre XI

LES MOUVEMENTS TOURBILLONNAIRES - THEORIE TOURBILLONNAIRE DE LA RESISTANCE DES FLUIDES

99 - Rappel des propriétés fondamentales (Helmholtz)	179
100 - Détermination des vitesses en fonction du tourbillon	180
101 - Application a un anneau circulaire	182
102 - Problème plan	183
103 - Surfaces de discontinuité - Tourbillons liés	183
104 - Application à la résistance des fluides	184
105 - Aile d'envergure limitée (Prandtl)	187

Chapitre XII

PROPAGATION DES ONDES. QUASI-ONDES

<u>Fluides compressibles</u>	189
106 - Propagation d'un mouvement	189
107 - Discontinuités de divers ordres	192
108 - Vitesse de propagation et vitesse de déplacement d'une onde	194
109 - Discontinuités du second ordre. Onde ordinaire (Hugoniot)	195
110 - Discontinuités du premier ordre - Ondes de choc	197
111 - Mouvement rectiligne des gaz. Problème de Riemann - Hugoniot	198
112 - Phénomène de Riemann - Hugoniot	200
113 - Mouvement rectiligne des gaz. Ondes du premier ordre	202
<u>Mouvements ondulatoires d'un fluide incompressible; quasi-ondes</u>	203
115 - Mouvement ondulatoire plan	204
116 - Clapotis	206
117 - Vitesse de groupes	207
118 - Onde solitaire - Quasi-ondes	207
119 - Houle trochoïdale (Von Gerstner, Prague 1804)	208

Chapitre XIII

NOTIONS DE VISCOSITE - MOUVEMENTS TURBULENTS

120 - Equations des fluides visqueux	213
121 - Applications	216
122 - Expériences de Hele - Shaw	217
123 - Ecoulement d'un fluide visqueux dans un tube fin (Poiseuille)	218
124 - Mouvements turbulents	218
125 - Notions d'hydraulique	220
Exercices proposés sur les chapitres VII à XIII	227

Chapitre XIV

EQUILIBRE DES SOLIDES ELASTIQUES ISOTROPES

126 - Solides élastiques	233
127 - Equilibre isotherme. Relations entre les déformations et les tensions dans le domaine élastique. Loi de Hooke généralisée	234
128 - Corps isotropes	235
129 - Travail des efforts intérieurs. Potentiel interne	237

130 - Equations d'équilibre	238
131 - Superposition des états d'équilibre	239
132 - Unicité de la solution	240
133 - Conséquences des équations d'équilibre. Equation de la dilatation cubique. Equations aux rotations	240
134 - Conditions d'intégrabilité des équations de Lamé	241
135 - Résistance d'une pièce	241
136 - Cercles de Mohr	242
137 - Conditions d'équilibre élastique dans l'hypothèse où les déplacements admettent un potentiel $\psi(x,y,z)$	243
138 - Compression uniforme (hydrostatique) d'un solide élastique	243
139 - Compression simple ou traction simple d'une barre cylindrique	244
140 - Sphère creuse soumise de part et d'autre à des pressions différentes	245
141 - Cylindre creux soumis à des pressions uniformes à l'intérieur et à l'extérieur	246
142 - Frettage	248
143 - Torsion pure d'une pièce cylindrique	250
144 - Remarque importante	251
145 - Conditions de résistance	252
146 - Problème de Saint-Venant	254
147 - Détermination des coefficients et de la fonction φ	257
148 - Cas particuliers	260
149 - Problème de l'élastique	261
150 - Flambement	263

Chapitre XV

NOTIONS DE RESISTANCE DES MATERIAUX

151 - Les équations	265
152 - Application à la flexion plane des poutres planes symétriques	267
153 - Application. Equilibre d'une poutre droite AB soumise à une charge transversale uniforme P	268
154 - Expression approchée du potentiel interne d'une poutre	270

Chapitre XVI

LES THEOREMES DU TRAVAIL

155 - Théorème de Clapeyron	273
156 - Théorème de Castigliano (dérivés du travail)	275
157 - Remarque	276
158 - Détermination d'un système hyperstatique à l'aide du théorème de Castigliano	277
159 - Etude d'un système articulé hyperstatique	277
160 - Détermination de la flèche d'un système en un point où n'agit aucune charge	278
161 - Application aux poutres continues	278
162 - Arc à deux rotules	279
163 - Détermination d'un portique rigide doublement encastré	281
164 - Détermination d'un anneau circulaire	281
165 - Déformation d'un ressort	282
166 - Influence de la température sur un système hyperstatique	282
167 - Théorème de réciprocité (Maxwell-Betti)	283
168 - Applications	284

Chapitre XVII

PETITS MOUVEMENTS DES CORPS ELASTIQUES ISOTROPES

169 - Petits mouvements autour d'un état d'équilibre peu déformé	285
170 - Propagation d'une onde plane dans un milieu élastique isotrope	289

Chapitre XVIII

SIMILITUDE MECANIQUE

171 - Généralités	293
172 - Application à la résistance à l'avancement d'un navire	296
173 - Application à l'aéronautique	297
174 - Application aux turbines hydrauliques	298
175 - Application à l'équilibre élastique	301

Note I - DEFORMATION ISOTHERME D'UN CORPS ELASTIQUE A PARTIR

D'UN ETAT INITIAL QUELCONQUE

305

Note II - NOTIONS D'ELASTICITE PLANE

309

178 - Premier problème. Etude de la déformation plane	309
179 - Deuxième problème. Etude des plaques planes	311
Exercices proposés sur les chapitres XIV et suivants	317

N° dépôt légal éditeur : 348

N° dépôt légal imprimeur : 1892

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 26 MAI 1951
 SUR LES PRESSES de J. & R. SENNAC
 IMPRIMEURS

54. Rue du Faubourg-Montmartre, 54
 PARIS 9^e