

TABLE DES MATIÈRES

1. — GÉNÉRALITÉS DE MÉCANIQUE DES FLUIDES

10. — FLUIDE EN ÉQUILIBRE.....	1
100. — Grandeurs physiques en un point.....	1
101. — Équation caractéristique.....	1
102. — Unités et valeurs numériques.....	2
103. — Transformation isentropique.....	3
104. — Compressibilité de l'air.....	4
105. — Atmosphère type.....	5
11. — FLUIDE EN MOUVEMENT.....	7
110. — Vitesse et pression statique.....	7
111. — Veine fluide à vitesse uniforme.....	7
112. — Vitesse de propagation d'une perturbation infiniment petite.....	7
113. — Action de contact dans un fluide visqueux.....	10
114. — Définition du coefficient de viscosité.....	10
115. — Équilibre d'un parallélépipède fluide visqueux incompressible.....	11
116. — Valeurs de μ et ν	13
117. — Notions de cinématique des fluides.....	15
118. — Corps dans une veine fluide.....	21
12. — ÉCOULEMENT PAR FILETS EN MOUVEMENT PERMANENT SUBSONIQUE ET SUPERSONIQUE, SANS ONDE DE CHOC.....	23
120. — Équation de continuité pour un filet fluide.....	23
121. — Écoulement d'un fluide parfait, par filets, en mouvement permanent.....	23
122. — Équilibre transversal.....	24
123. — Équilibre longitudinal en fluide incompressible.....	25
124. — Équilibre longitudinal en fluide compressible.....	26
125. — Cas particulier de l'écoulement à potentiel des vitesses.....	30
126. — Variation de la masse volumique avec la vitesse.....	30
127. — Fluide au repos et impact.....	31
128. — Écoulement par filets d'un fluide visqueux.....	34
13. — ÉCOULEMENT AVEC ONDE DE CHOC NORMALE OU OBLIQUE.....	35
130. — Généralités.....	35
131. — Onde normale.....	36
132. — Onde oblique.....	43
133. — Réflexion et réfraction d'ondes de choc planes.....	47
14. — DÉTENTE ISENTROPIQUE AUTOUR D'UN DIÈDRE.....	49
140. — Généralités.....	49
141. — Détente de PRANDTL-MEYER.....	49
15. — ÉCOULEMENT PAR TRANCHES PLANES DANS UNE TUYÈRE.....	53
150. — Généralités.....	53
151. — Théorème d'HUGONOT.....	53
152. — Relations fondamentales dans une tuyère (fluide parfait avec vitesse du son au col).....	54
153. — Tuyère avec frottement.....	62

2. — PHÉNOMÈNES ET PRINCIPES GÉNÉRAUX

20. —	TURBULENCE	67
200. —	Généralités	67
201. —	Turbulence en soufflerie	69
202. —	Turbulence de l'atmosphère	73
203. —	Appareillage de mesure pour études de turbulence	73
204. —	Effets de la turbulence	75
21. —	ÉCOULEMENT DANS LES TUYAUX CYLINDRIQUES	76
210. —	Importance de cette étude	76
211. —	Expériences de Poiseuille	76
212. —	Expériences de Reynolds	78
213. —	Écoulement turbulent dans un tube	79
214. —	Résultats de Stanton et Pannell	80
215. —	Écoulement dans les conduites rugueuses	80
216. —	Ajutages, coudes, diaphragmes	81
22. —	COUCHE LIMITE SUR LES PLAQUES MINCES	81
220. —	Généralités	81
221. —	Couche limite laminaire sur une plaque plane (écoulement incompressible)	86
222. —	Couche limite laminaire, extension de la théorie de la plaque plane	93
223. —	Couche limite turbulente sur une plaque plane	97
224. —	Surface à couche limite partie laminaire, partie turbulente	103
225. —	Résultats expérimentaux	105
226. —	Détermination expérimentale du point de transition	108
227. —	Facteurs agissant sur la position du point de transition	109
228. —	Influence de la position du point de transition sur la résistance de frottement	111
229. —	Plaques planes rugueuses	112
23. —	DÉCOLLEMENT. COUCHES DE DISCONTINUITÉ DE VITESSE. INTERACTION COUCHE LIMITE-ONDE DE CHOC	115
230. —	Définition du décollement	115
231. —	Position du point de décollement	116
232. —	Recollement turbulent	119
233. —	Suppression des points de décollement	118
234. —	Surfaces de discontinuité de vitesse. Formation de tourbillons	119
235. —	Sillage	120
236. —	Interaction couche limite-onde de choc	121
24. —	RÉSULTANTE GÉNÉRALE ET MOMENT RÉSULTANT DES FORCES AÉRODYNAMIQUES	124
240. —	Résultante générale et moment résultant	124
241. —	Analyse dimensionnelle	124
242. —	Trièdres de référence	126
243. —	Composantes de la résultante et du moment résultant	127
244. —	Trainée de pression, trainée de frottement	129
245. —	Coefficient de pression locale	130
25. —	CONDITIONS DE SIMILITUDE	131
250. —	Généralités	131
251. —	Fluide non pesant, incompressible et visqueux	133
252. —	Fluide pesant, incompressible et visqueux	134
253. —	Fluide non pesant, et compressible	135
254. —	Fluide non pesant compressible et visqueux	136
255. —	Établissement des conditions de similitude par l'analyse dimensionnelle	136
256. —	Applications des lois de similitude aux essais en soufflerie	137
257. —	Similitude des maquettes volantes	139
26. —	PRINCIPE DU MOUVEMENT RELATIF	143

3. — SOUFFLERIES AÉRODYNAMIQUES

30. — HISTORIQUE DES MÉTHODES D'ESSAIS.....	145
300. — Généralités	145
301. — Soufflerie aérodynamique.....	145
302. — Chute libre, chariot, manège.....	146
303. — Essais en vol.....	147
31. — CLASSIFICATION DES SOUFFLERIES.....	147
310. — Généralités	147
311. — Classification d'après la vitesse.....	148
312. — Classification d'après le mode de fonctionnement.....	148
313. — Classification par la nature des parois.....	149
32. — SOUFFLERIES SUBSONIQUES ET SONIQUES.....	149
320. — Soufflerie type Eiffel.....	149
321. — Variantes du type Eiffel.....	154
322. — Soufflerie à retour (PRANDTL).....	156
323. — Variantes du retour de Prandtl.....	158
324. — Coefficients caractéristiques d'une soufflerie subsonique.....	160
325. — Considérations relatives à la conception d'une soufflerie moderne.....	162
326. — Souffleries spéciales	167
33. — SOUFFLERIES SUPERSONIQUES.....	169
330. — Fonctionnement d'une tuyère convergente divergente.....	169
331. — Fonctionnement d'une tuyère à deux cols.....	173
332. — Forme de la tuyère.....	176
333. — Différents types de souffleries supersoniques.....	178
334. — Puissance nécessaire.....	181
34. — ÉLÉMENTS PRINCIPAUX D'UNE SOUFFLERIE.....	185
340. — Collecteur, filtre, chambre de tranquillisation.....	185
341. — Veine utile.....	188
342. — Diffuseur subsonique.....	189
343. — Diffuseur supersonique (convergent).....	193
344. — Coudes	194
345. — Bilan des pertes d'énergie.....	195
346. — Exhausteur	196
35. — CORRECTIONS DE PAROIS.....	197
350. — Généralités	197
351. — Effet bouchon.....	198
352. — Corrections de parois.....	200
353. — Corrections relatives aux ailes.....	201
354. — Corrections de parois en aval d'une aile.....	204
355. — Veines semi-guidées.....	206
356. — Corrections relatives aux hélices.....	206
36. — MESURES RELATIVES A LA SOUFFLERIE.....	207
360. — Détermination de la vitesse (grandeur).....	207
361. — Détermination de la direction de la vitesse.....	211
362. — Détermination de la turbulence.....	212

4. — APPAREILLAGES DE MESURE ET D'OBSERVATION DES ÉCOULEMENTS

40. —	MESURE DE PRESSION.....	213
400. —	Généralités	213
401. —	Manomètres	213
402. —	Pression statique.....	214
403. —	Pression totale.....	217
41. —	MESURE DES VITESSES.....	219
410. —	Antennes du type pitot double.....	219
411. —	Antennes à déflecteur.....	223
412. —	Anémoclinomètre I. M. F. L.....	224
413. —	Tube de Venturi	226
414. —	Anémomètre à indication électrique.....	227
415. —	Anémomètre à moulinet.....	229
416. —	Mesure absolue de la vitesse.....	229
417. —	Direction de la vitesse.....	230
42. —	MÉTHODES OPTIQUES POUR L'ÉTUDE DU CHAMP AÉRODYNAMIQUE.....	231
420. —	Généralités	231
421. —	Méthode des ombres.....	231
422. —	Strioscopie	232
423. —	Méthodes interférentielles.....	235
43. —	MESURE DES TEMPÉRATURES.....	241
430. —	Température du fluide à l'infini.....	241
431. —	Température en un point.....	242
44. —	MESURE DES EFFORTS : BALANCES AÉRODYNAMIQUES.....	242
440. —	Généralités	242
441. —	Balances élémentaires de traînée.....	245
442. —	Balances rigides.....	246
443. —	Balances à fils.....	252
444. —	Balances mixtes.....	258
445. —	Indications sur les dynamomètres électriques à faible course.....	259
446. —	Précision des balances.....	261
447. —	Détermination indirecte des efforts aérodynamiques.....	261
45. —	MESURE DIRECTE DES MOMENTS PAR GIROUILLE.....	262
450. —	Généralités	262
451. —	Girouette de tangage.....	262
452. —	Girouette de giration.....	264
453. —	Girouette roulis-giration.....	265
454. —	Moments de charnière.....	265
46. —	ESSAIS D'HÉLICES.....	265
460. —	Dispositifs en usage.....	265
461. —	Précision	266
47. —	ÉQUIPEMENT DES MAQUETTES.....	267
48. —	MESURES AÉRODYNAMIQUES EN RÉGIME NON PERMANENT.....	267
49. —	OBSERVATION ET PHOTOGRAPHIE DES ÉCOULEMENTS.....	269
490. —	Généralités	269
491. —	Visualisation à la surface d'un liquide.....	269
492. —	Visualisation au sein du fluide.....	271
493. —	Observation de phénomènes périodiques.....	275
494. —	Analogie hydraulique des écoulements supersoniques.....	275

5. — CORPS GÉOMÉTRIQUEMENT SIMPLES

50. — GÉNÉRALITÉS.....	279
51. — INTÉRÊT DES FORMES FUSÉLÉES.....	279
52. — CORPS A GÉNÉRATRICES PERPENDICULAIRES A LA VITESSE.....	282
520. — Cylindre infini en translation.....	282
521. — Cylindre de longueur finie.....	286
522. — Corps cylindrique à base non circulaire, mâts fuselés.....	286
523. — Cylindre tournant en déplacement relatif.....	289
53. — SPHÈRE.....	291
530. — Généralités.....	291
531. — La sphère, critère de turbulence.....	298
54. — CORPS FUSÉLÉS DE RÉVOLUTION.....	301
540. — Généralités.....	301
541. — Carènes de dirigeables.....	301
542. — Fuselages.....	305
55. — CORPS A ARÊTES VIVES.....	305
550. — Généralités.....	305
551. — Plaques normales à la vitesse.....	305
552. — Plaques inclinées sur la vitesse.....	306
553. — Cylindres d'axe parallèle à la vitesse.....	306
554. — Maquettes de bâtiments.....	307
56. — INTERACTION DE CORPS SIMPLES.....	308
560. — Généralités.....	308
561. — Exemples en régime subsonique.....	308
562. — Exemples en régime supersonique.....	309

6. — AILE

60. — GÉNÉRALITÉS ET DÉFINITIONS GÉOMÉTRIQUES.....	311
600. — Généralités.....	311
601. — Définitions géométriques. Profils d'aile ..	312
61. — AILE EN ÉCOULEMENT INCOMPRESSIBLE.....	318
610. — Aile d'envergure infinie.....	318
611. — Aile d'envergure limitée.....	328
6110. — Théorie de Prandtl.....	328
6111. — Aile à répartition elliptique de la circulation.....	335
6112. — Aile à répartition non elliptique de la circulation.....	337
6113. — Vérifications expérimentales.....	342
612. — ANALOGIES RHÉOÉLECTRIQUES.....	346
6120. — Généralités.....	346
6121. — Aile d'envergure infinie.....	347
6122. — Aile d'envergure limitée.....	349
613. — REPRÉSENTATION DES RÉSULTATS GLOBAUX.....	352
6130. — Généralités.....	352
6131. — Courbes unitaires.....	352
6132. — Polaires Eiffel et de Lilienthal.....	355
6133. — Moments de tangage par rapport au bord d'attaque.....	358
6134. — Centre de poussée.....	358
6135. — Moments de tangage par rapport à des axes parallèles au bord d'attaque.....	362

62. — PHÉNOMÈNES PHYSIQUES AUX FAIBLES NOMBRES DE MACH.....	363
620. — Écoulement dans le plan de symétrie d'une aile.....	363
621. — Écoulement aux extrémités marginales d'une aile.....	369
622. — Répartition des pressions à la paroi.....	374
623. — Couche limite sur une aile.....	378
624. — Champ de température sur une aile.....	382
63. — ÉTUDE DE LA TRAINÉE DE PROFIL ET DU C_x MAXIMUM.....	384
630. — Généralités.....	384
631. — Mesure de la trainée de profil par l'exploration du sillage.....	384
632. — Calcul de la trainée de profil.....	398
633. — Réduction de la trainée de profil; profils laminaires.....	391
634. — Sustentation maximum d'une aile.....	400
635. — Influence de la turbulence et du nombre de Reynolds sur le C_x max.....	404
636. — Influence des paramètres géométriques du profil (rugosité, état de surface).....	411
637. — Influence de la forme de l'aile (aile en flèche, aile delta).....	430
64. — HYPERAUSTENTATION.....	440
640. — Généralités.....	440
641. — Suppression de l'effet de viscosité.....	441
642. — Aile à fente.....	443
643. — Dispositifs hypersustentateurs de bord d'attaque.....	444
644. — Dispositifs hypersustentateurs de bord de fuite.....	446
645. — Hypersustentation par contrôle de la couche limite.....	454
65. — ESSAIS DIVERS AUX FAIBLES NOMBRES DE MACH.....	463
650. — Aile avec flasques marginales.....	463
651. — Aile en attaque oblique.....	464
652. — Aile en autorotation.....	467
653. — Aile interactionnée.....	472
654. — Grille d'ailes.....	480
655. — Aile gauchie.....	482
66. — AILE EN ÉCOULEMENT SUBSONIQUE COMPRESSIBLE.....	484
660. — Écoulement théorique sans onde de choc.....	484
6600. — Équation du potentiel.....	484
6601. — Linéarisation de l'équation en φ	485
6602. — Approximation de Prandtl-Glauert.....	485
6603. — Résultats théoriques généraux.....	490
661. — Résultats expérimentaux en régime entièrement subsonique.....	490
662. — Écoulement avec ondes de choc.....	492
6620. — Généralités.....	492
6621. — Résultats expérimentaux.....	493
66210. — Résultante générale.....	493
66211. — Formation de l'onde de choc.....	498
66212. — Pressions locales.....	498
66213. — Perte par choc.....	501
66214. — Position de la résultante, moment de tangage.....	503
6622. — Influence du profil.....	504
6623. — Sustentation maximum aux grands nombres de Mach.....	505
6624. — Effet de la compressibilité sur l'équilibre longitudinal de l'avion.....	506
663. — Influence de la forme en plan, aile en flèche, aile delta.....	507
664. — Aile en écoulement transsonique.....	510
6640. — Essais transsoniques en vol.....	510
6641. — Essais transsoniques en soufflerie.....	510
67. — AILE EN ÉCOULEMENT SUPERSONIQUE.....	514
670. — Écoulement théorique bidimensionnel.....	514
6700. — Écoulement linéarisé.....	514
6701. — Théorie de RUSEMANN.....	521

6702. — Calculs par la théorie exacte.....	522
6703. — Considérations relatives à la trainée d'onde.....	524
6704. — Comparaisons entre le fonctionnement subsonique et supersonique d'un profil.....	525
671. — Résultats expérimentaux en écoulement bidimensionnel.....	526
6710. — Pressions locales.....	526
6711. — Résultante et moment.....	527
6712. — Trainée de pression, trainée de frottement.....	531
6713. — Visualisation d'écoulement.....	531
672. — Aile d'envergure limitée (théorie linéaire).....	531
6720. — Généralités.....	531
6721. — Aile à incidence nulle et profil constant.....	536
6722. — Aile sustentatrice.....	538
673. — Aile en attaque oblique, en flèche, aile delta.....	538
6730. — Aile infinie en attaque oblique.....	538
6731. — Aile limitée en attaque oblique, $i = 0$	540
6732. — Aile en flèche.....	540
6733. — Aile delta.....	541
6734. — Résultats expérimentaux en écoulement tridimensionnel.....	543

7. — HÉLICE

70. — DÉFINITIONS ET REPRÉSENTATIONS GÉOMÉTRIQUES.....	549
700. — Définitions géométriques.....	549
701. — Représentation des hélices.....	550
702. — Variation du pas d'une hélice à calage variable.....	552
71. — FONCTIONNEMENT AÉRODYNAMIQUE.....	553
710. — Définitions aérodynamiques.....	553
711. — Détermination graphique des incidences géométriques.....	555
712. — Théorie de l'élément de pale.....	556
713. — Divers modes de fonctionnement d'un élément de pale.....	559
72. — SIMILITUDE ET COEFFICIENTS CARACTÉRISTIQUES DES HÉLICES.....	560
720. — Analyse dimensionnelle.....	560
721. — Similitude des hélices semblables.....	562
722. — Représentation des résultats d'essais.....	563
723. — Généralités sur les essais d'hélices.....	564
73. — THÉORIE DE FROUDE.....	566
730. — Généralités.....	566
731. — Écoulement théorique : traction, puissance et rendement.....	566
732. — Écoulement réel.....	569
733. — Détermination de la traction (méthode de Stanton).....	569
74. — CHAMP AUTOUR D'UNE HÉLICE.....	570
740. — Généralités.....	570
741. — Champ moyen de vitesses et de pressions.....	571
742. — Répartition des pressions sur une pale.....	572
743. — Visualisation des décollements sur une pale.....	572
744. — Champ instantané autour d'une hélice.....	576
75. — THÉORIE TOURBILLONNAIRE DE L'HÉLICE.....	586
750. — Généralités.....	586
751. — Pertes.....	590
76. — DÉFINITIONS RELATIVES À L'HÉLICE INTERACTIONNÉE.....	592
760. — Généralités.....	592
761. — Traction interne et fraction effective.....	593
762. — Efficacité.....	595
763. — Validité des caractéristiques effectives.....	595

77. — RÉSULTATS GÉNÉRAUX. INFLUENCE DES PARAMÈTRES.....	596
770. — Généralités	596
771. — Influence du corps interagissant l'hélice.....	596
772. — Influence du profil.....	599
773. — Influence du pas.....	601
774. — Influence de la forme des pales.....	608
775. — Influence de la largeur relative des pales.....	608
776. — Influence du nombre de pales.....	609
777. — Influence de la compressibilité.....	610
778. — Effet des efforts appliqués (déformations).....	614
78. — DOUBLET D'HÉLICES COAXIALES.....	616
780. — Généralités	616
781. — Résultats d'essais.....	616
79. — HÉLICE SUPERSONIQUE.....	619

8. -- AVIONS

80. — GÉNÉRALITÉS	621
800. — Historique	621
801. — Maquettes d'avions.....	621
802. — Éléments d'avions.....	622
803. — Multiplicité des essais.....	622
804. — But des essais.....	623
805. — Définitions	623
81. — MODES DE REPRÉSENTATION DES RÉSULTATS DU PLANEUR.....	625
810. — Polaire planeur indéformable.....	625
811. — Polaire d'utilisation du planeur.....	626
812. — Courbe des moments de tangage du planeur indéformable.....	626
813. — Courbe $\beta = f(i)$	627
814. — Courbe des réactions de la gouverne de profondeur.....	631
815. — Effet d'une limitation de la veine fluide	633
82. — RÉSULTATS TYPES RELATIFS AUX POLAIRES DU PLANEUR.....	639
820. — Polaire d'un planeur et de ses éléments.....	639
821. — Interaction aile-fuselage.....	636
822. — Aile avec fuseaux moteurs.....	642
823. — Importance de l'état de surface.....	643
824. — Hypersustentateurs et freins de piqué.....	643
83. — RÉSULTATS TYPES RELATIFS AUX MOMENTS DU PLANEUR.....	645
830. — Moments de tangage d'un planeur et de ses éléments.....	645
831. — Influence du braquage β sur les courbes $C_m = f(i)$	649
832. — Influence de la position du centre de gravité.....	650
833. — Détermination expérimentale de la déflexion.....	656
834. — Moments de giration.....	659
835. — Moments de charnière d'une gouverne.....	660
84. — AVIONS SPÉCIAUX.....	663
840. — Généralités	663
841. — Aile volante.....	663
842. — Avion type « Canard ».....	664
843. — Avion tandem « Pou du Ciel ».....	665

85. — MAQUETTE MOTORISÉE.....	667
850. — Généralités	667
851. — Influence du souffle d'hélice sur l'aile.....	669
852. — Aile motorisée.....	670
853. — Influence de l'aile sur l'hélice.....	674
854. — Influence d'une hélice au point fixe sur une aile.....	677
855. — Résultats relatifs aux maquettes motorisées.....	679
856. — Détermination directe des performances.....	690
86. — AÉRODYNAMIQUE INTERNE	697
860. — Radiateurs	697
861. — Capots de moteurs à air.....	703
862. — Entrées d'air des réacteurs.....	705

9. — AÉRODYNES A HÉLICES SUSTENTATRICES

90. — GÉNÉRALITÉS	707
91. — HÉLICE SUSTENTATRICE AU POINT FIXE, $i = 90^\circ$	707
910. — Fonctionnement théorique.....	707
911. — Fonctionnement réel.....	709
912. — Coefficients sans dimensions et pseudo-rendement.....	709
913. — Résultats expérimentaux.....	710
92. — HÉLICE SUSTENTATRICE EN TRANSLATION, $i = 90^\circ$	712
920. — Coefficients	712
921. — Essais du Laboratoire Eiffel.....	714
93. — HÉLICE SUSTENTATRICE EN AUTOROTATION.....	716
930. — Généralités	716
931. — Autorotation du rotor, $i = 90^\circ$	716
932. — Autorotation du rotor en translation.....	719
933. — Polaire de l'autogire.....	721

ANNEXE

LISTE DES PLANCHES ET TABLEAUX

- Pl. 1. — Polaires de choc de Busemann.
 Pl. 2. — Diagramme du cercle de Tesson.

MONOGRAPHIES DE SOUFFLERIES..... 726

- Tableau I. — Principales souffleries subsoniques françaises, en service.
 Tableau II. — Principales souffleries soniques et supersoniques françaises, en service.
 Tableau III. — Souffleries soniques et supersoniques françaises, en construction.
 Pl. 3. — Soufflerie d'essais de profils laminaires T. D. T. du N.A.C.A.
 Pl. 4. — — sonique du D. V. L.
 Pl. 5. — — d'Ottobrunn.
 Pl. 6. — — de Farnborough (R. A. E.).
 Pl. 7. — — coopérative de Pasadena.
 Pl. 8. — — sonique de Moffat Field (N.A.C.A.).
 Pl. 9. — — sonique de Modane (O.N.E.R.A.).
 Pl. 10. — — de Teddington (N. P. L.).
 Pl. 11. — — supersonique de Zurich.
 Pl. 12. — — supersonique Hateau.