

Traité d'aérodynamique compressible

volume 1

notions fondamentales d'aérodynamique

Jean Délery

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale	9
Chapitre 1. L'aérodynamique : objectifs, domaines d'application et enjeux actuels. ..	13
Chapitre 2. Les efforts aérodynamiques. Définitions élémentaires	17
2.1. Les principaux coefficients aérodynamiques	17
2.2. La finesse aérodynamique et son importance pratique	21
2.3. Courbes de portance et de traînée, polaire	25
2.4. Autres coefficients caractérisant l'effet d'un fluide sur un corps	27
2.4.1. Action de la pression	27
2.4.2. Action du frottement	28
2.4.3. Flux de chaleur et échauffement.	28
2.5. Evaluation de l'action exercée par un fluide sur un corps	29
2.5.1. Relations générales	29
2.5.2. Portance et traînée. Décomposition de la traînée	33
2.5.3. Répartition de pression sur un profil et portance	34
2.5.4. Décrochage aérodynamique d'un profil.	36
2.5.5. Retour sur le moment aérodynamique. Centre de poussée.	37
2.6. Cas de l'avion complet : le torseur aérodynamique	39
Chapitre 3. Rappels de thermodynamique	45
3.1. Systèmes macroscopiques, variables d'état fondamentales et température absolue .	45
3.2. Echanges énergétiques	46
3.3. Postulats de la thermodynamique	47
3.3.1. Postulat de l'énergie totale ou premier principe.	47
3.3.2. Energie interne	48
3.3.3. Enthalpie	50
3.3.4. Postulat sur l'entropie et deuxième principe	50
3.4. Expression de l'entropie	52
3.5. Lois de comportement et modèle du gaz parfait	53
3.6. Relations isentropiques pour un gaz calorifiquement parfait	56

3.7. Remarques sur la thermodynamique des gaz étudiés	58
3.7.1. Air dissocié à haute température et effets de gaz réel	58
3.7.2. Equation d'état pour un mélange de gaz réactifs à l'équilibre. Facteur de compressibilité.	61
3.8. Expression de la vitesse du son	63
Chapitre 4. Les équations fondamentales de la mécanique des fluides	65
4.1. Régime continu et régime moléculaire.	65
4.2. Milieu continu et équations de Navier-Stokes.	67
4.3. Principe de conservation de la masse et équation de continuité	69
4.4. Equation du mouvement	72
4.5. Expression du tenseur des contraintes	76
4.6. Equation de l'énergie	78
4.7. Equation pour l'entropie et expression du flux de chaleur.	83
4.8. Récapitulation des équations fondamentales.	86
4.9. Conditions aux limites	87
4.10. Analogie acoustique et équation de Lighthill	89
Chapitre 5. Premières applications des équations de conservation	93
5.1. Théorème de la d'Alambert.	93
5.2. Action d'un écoulement traversant une nacelle : poussée et traînée de captation	95
5.3. Traînée d'un véhicule en écoulement uniforme. Origine de la traînée et relation d'Oswatitsch.	98
5.4. Méthode de Betz pour la détermination de la traînée	103
Chapitre 6. Equations sans dimension. Paramètres de similitude.	109
6.1. Normalisation des équations. Nombres de Reynolds, de Froude et de Prandtl	109
6.2. Autres nombres remarquables	115
6.2.1. Similitude temporelle et nombre de Strouhal	115
6.2.2. Ecoulements réactifs et nombre de Damköhler	116
6.2.3. Ecoulements multi-espèces et nombre de Lewis	117
6.3. Conditions de similitude et importance du nombre de Reynolds	121
6.4. Simulation du nombre de Reynolds dans les souffleries	124
6.5. Conclusion	127
Chapitre 7. Classification des écoulements.	129
7.1. Ecoulement visqueux et écoulement non-visqueux. Equations d'Euler	129
7.2. Ecoulement compressible et écoulement incompressible	133
7.3. Ecoulement subsonique et écoulement supersonique	135
7.4. Approximations physiques et approximations mathématiques	138

Chapitre 8. Concepts fondamentaux en mécanique des fluides	141
8.1. Trajectoires, lignes de courant, lignes d'émission	141
8.1.1. Trajectoires dans un fluide en mouvement	141
8.1.2. Lignes de courant d'un fluide en mouvement	143
8.1.3. Lignes d'émission d'un fluide en mouvement	145
8.1.4. Cas des écoulements stationnaires. Surface et tube de courant.	145
8.2. Rotationnel, circulation, fonction de courant, potentiel des vitesses	148
8.2.1. Rotationnel et théorème de Crocco	148
8.2.2. Circulation. Théorèmes de Kelvin, Lagrange et d'Helmholtz	152
8.2.3. Fonction de courant	159
8.2.4. Fonction potentiel des vitesses	161
Chapitre 9. Conclusion. Le modèle de fluide non-visqueux et ses limites.	165
Annexe 1. Rappels de notions mathématiques	167
Annexe 2. Tableaux récapitulatifs des relations utiles	177
Bibliographie	185
Index	191