

Traité d'aérodynamique compressible

volume 2
écoulements monodimensionnels
stationnaires
et surfaces de discontinuité

Jean Délery

TABLE DES MATIÈRES

Introduction. Au cœur de la dynamique des gaz.	9
Chapitre 1. Écoulements monodimensionnels stationnaires, non-visqueux et adiabatiques	11
1.1. Définition et hypothèses de base.	11
1.2. Les équations fondamentales	13
1.2.1. Conservation de la masse. Equation de continuité	13
1.2.2. Equation du mouvement ou équation d'Euler	13
1.2.3. Equation de l'énergie	15
1.2.4. Isentropie de l'écoulement	21
1.3. Le théorème d'Hugoniot	21
1.4. Conséquences du théorème d'Hugoniot : col sonique et amorçage d'une tuyère supersonique	25
1.5. Détente ou compression d'un écoulement isentropique	28
1.5.1. Concept de vitesse limite	28
1.5.2. Relations isentropiques et loi des sections	31
1.5.2.1. Conditions génératrices locales	31
1.5.2.2. Application au gaz caloriquement parfait	31
1.5.2.3. La loi des sections	34
1.5.2.4. Expressions pour la vitesse	35
1.5.2.5. Une application de la loi des sections : le débitmètre sonique	37
1.6. Cas incompressible : la relation de Bernoulli et applications	39
1.6.1. La relation de Bernoulli	39
1.6.2. Mesure de la vitesse : la sonde de Pitot	41
1.6.3. Le Venturi	42
Chapitre 2. Application au calcul des tuyères.	45
2.1. Définition générale d'une tuyère	45
2.2. Calcul de l'écoulement dans la tuyère	46
2.3. Calcul du débit massique	49
2.4. Calcul de la poussée.	50
2.5. Poussée conventionnelle à la pression p_a et adaptation d'une tuyère	54
2.6. Remarques pour conclure	59

Chapitre 3. Écoulements monodimensionnels avec frottement et apport de chaleur	61
3.1. Force de frottement et transfert thermique sur une paroi	61
3.2. Théorie monodimensionnelle et relation d'Hugoniot généralisée	65
3.3. Écoulement avec frottement sans apport de chaleur. Perte de charge	67
3.4. Écoulement avec apport de chaleur sans frottement. Blocage thermique	72
3.5. Méthode de calcul d'un écoulement monodimensionnel avec frottement et apport de chaleur	73
Chapitre 4. Application de la théorie monodimensionnelle au calcul des éjecteurs . . .	75
4.1. Introduction	75
4.2. Caractéristiques technologiques et aérodynamiques	76
4.3. Analyse physique du régime supersonique	77
4.4. Analyse physique du régime mixte	79
4.5. Calcul d'un éjecteur à mélangeur cylindrique	81
4.5.1. Conditions générales de calcul	81
4.5.2. Cas du régime supersonique	82
4.5.3. Algorithme de calcul de la caractéristique pour le régime supersonique	86
4.5.4. Algorithme de calcul de la caractéristique pour le régime mixte	88
4.6. Exemples d'application	90
Chapitre 5. Surfaces de discontinuité : onde de choc et ligne de glissement	93
5.1. Existence des ondes de choc	93
5.2. Relations pour les discontinuités ou équations de Rankine-Hugoniot	95
5.3. Solution du type onde de choc	99
5.4. Solution du type ligne de glissement	101
5.5. Cas de l'onde de choc normale	105
5.5.1. Relations générales	105
5.5.2. Cas du gaz calorifiquement parfait	106
5.5.2.1. La relation de Prandtl	106
5.5.2.2. Relations entre les états aval et amont	108
5.5.2.3. Perte de pression génératrice au travers d'une onde de choc	111
5.5.2.4. Quelques passages à la limite instructifs	114
5.5.2.5. Résultats à retenir	116
5.6. Structure de choc : le rôle de la viscosité	116
Chapitre 6. Onde de choc oblique et polaires de choc	125
6.1. Solution générale	125
6.2. Polaires de choc	127
6.2.1. Polaire dans le plan [pression, déviation]	127
6.2.2. Polaire dans le plan [angle de déflexion, angle de choc]	134
6.3. Autres propriétés de la polaire de choc [pression, déviation]	136

6.4. Le problème de la réflexion d'une onde de choc oblique plane.	140
6.5. Transition réflexion régulière – réflexion de Mach	149
6.6. Compressions externe, interne et isentropique	151
6.7. Onde de choc conique	155
Chapitre 7. Croisements ou interférences de chocs	159
7.1. Introduction	159
7.2. Interférence de type I	161
7.3. Interférence de type II	165
7.4. Interférence de type III	168
7.5. Interférence de type IV	171
7.6. Interférence de type V	175
7.7. Interférence de type VI	178
7.8. Structure de choc en λ	181
7.9. Transition entre les interférences de types VI et V	182
Chapitre 8. Application de la théorie de l'onde de choc aux prises d'air supersoniques	185
8.1. Rôle de la prise d'air	185
8.2. Prise d'air du type Pitot	187
8.2.1. Aménagement et définitions	187
8.2.2. Fonctionnement en vol subsonique	189
8.2.3. Fonctionnement en vol supersonique	189
8.2.4. Une relation importante entre l'efficacité et le coefficient de débit	193
8.3. Prise d'air supersonique bidimensionnelle	194
8.3.1. Aménagement et régimes de fonctionnement	194
8.3.2. Prise d'air supersonique bidimensionnelle à rampes multiples	197
8.4. Exemples de prises d'air	203
Annexe. Tableaux récapitulatifs des relations utiles	209
Bibliographie	217
Index	223
Sommaire volume 1	225
Sommaire volume 3	229