

collection mécanique des fluides dirigée par Jean-Luc Achard

Écoulements et réactions chimiques 1

équations générales

Roger Prud'homme

 **hermes**

Lavoisier

Les écoulements avec réactions chimiques peuvent intervenir dans des domaines variés tels que la combustion, le génie des procédés, l'aéronautique, l'environnement atmosphérique et aquatique. Les interactions induites entre écoulement fluide, échange thermique et réaction chimique sont telles que dans de nombreuses applications, il n'est pas possible de traiter ces aspects séparément.

L'aérodynamique, la thermodynamique et la chimie sont ainsi sollicitées en permanence, ce qui a conduit à la création d'un domaine scientifique appelé l'« aérothermochimie ». Cet ouvrage analyse la mise en place, pour ces milieux, de systèmes cohérents d'équations avec leurs conditions aux limites et aux interfaces permettant de modéliser et de faire face aux situations complexes. Il propose l'étude des fluides simples, des mélanges réactifs et des interfaces et lignes. Plusieurs annexes permettent de développer certaines notations mathématiques, mais également la thermodynamique et les méthodes de la mécanique.

L'auteur

Roger Prud'homme est directeur de recherche émérite du CNRS. Ses recherches sur la combustion, les phénomènes d'interface et les fluides en micropesanteur ont fait l'objet de cours et donné lieu à la publication de nombreux articles et ouvrages.

hermes
Science
— publications —

www.hermes-science.com

978-2-7462-3893-0



9 782746 238930

Table des matières

Avant-propos	13
Chapitre 1. Fluides simples	15
1.1. Introduction.	15
1.2. Eléments sur la théorie des déformations – Coordonnées de Lagrange, coordonnées d'Euler	16
1.2.1. Taux de déformation	16
1.2.1.1. Mouvement d'un milieu continu.	16
1.2.1.2. Taux de dilatation	17
1.2.1.3. Conservation de la masse	18
1.2.1.4. Tenseurs caractérisant les taux de déformation	18
1.2.1.5. Accélération.	19
1.2.1.6. Dérivées particulières d'intégrales.	19
1.2.2. Coordonnées de Lagrange, coordonnées d'Euler	20
1.2.2.1. Changement de coordonnées	21
1.2.2.2. Vitesse particulière.	21
1.2.2.3. Dérivée particulière d'une grandeur.	21
1.2.2.4. Mouvement stationnaire.	22
1.2.3. Trajectoires, lignes de courant, lignes d'émissions	22
1.2.3.1. Trajectoires	22
1.2.3.2. Lignes de courant.	22
1.2.3.3. Lignes d'émission	22
1.3. Eléments de thermodynamique. Réversibilité. Processus irréversibles : viscosité, conduction thermique	23
1.3.1. Variables thermodynamiques. Définition d'un système. Echanges. Variété différentielle des états d'équilibre. Transformation	23

1.3.2. Principes de la thermodynamique	24
1.3.2.1. Premier principe de la thermodynamique	25
1.3.2.2. Deuxième principe de la thermodynamique	26
1.3.3. Propriétés des fluides simples à l'équilibre	28
1.3.3.1. Propriétés des dérivées partielles premières de l'énergie interne, relations de Gibbs, Euler, Gibbs-Duhem	28
1.3.3.2. Lois fondamentales. Lois d'état	29
1.3.3.3. Propriétés des dérivées partielles secondes de l'énergie interne.	30
1.4. Equations de bilan de la mécanique des fluides. Application aux fluides parfaits incompressibles, compressibles, aux fluides visqueux . .	32
1.4.1. Bilan de masse.	32
1.4.2. Notion de particule de milieu continu. Etat local	32
1.4.3. Bilan pour la propriété F.	33
1.4.3.1. Equations intégrale et locale de bilan	33
1.4.3.2. Bilan en suivant un mouvement fictif continu de vitesse $\vec{W}(\vec{x}, t)$	35
1.4.4. Application au volume, à la quantité de mouvement et à l'énergie.	35
1.4.4.1. Bilan de volume	36
1.4.4.2. Bilan de quantité de mouvement.	36
1.4.4.3. Bilan d'énergie	36
1.4.5. Bilan d'entropie. Expression du taux de production d'entropie	37
1.4.6. Bilans aux discontinuités	38
1.4.7. Application aux fluides parfaits. Cas incompressible	39
1.4.7.1. Fluide parfait	39
1.4.7.2. Fluides parfaits incompressibles	41
1.4.7.3. Ecoulements stationnaires.	41
1.4.7.4. Autre forme de l'équation de la quantité de mouvement d'un fluide parfait : le théorème d'Euler	41
1.4.7.5. Théorèmes de Bernoulli.	42
1.4.8. Application aux fluides dissipatifs	44
1.5. Exemples de problèmes de fluides parfaits incompressibles 2D et 3D	45
1.5.1. Ecoulements irrotationnels 2D plans : description dans le plan complexe des écoulements stationnaires	45
1.5.1.1. Généralités.	45
1.5.1.2. Tourbillon	46
1.5.1.3. Source et puits	47
1.5.1.4. Doublet.	47
1.5.1.5. Calcul de la pression.	48

1.5.2. Ecoulements irrotationnels 3D de fluides parfaits incompressibles : source, puits, doublet.	49
1.5.2.1. Généralités.	49
1.5.2.2. Ecoulements de révolution stationnaires irrotationnels . . .	50
1.5.2.3. Exemples	51
1.5.3. Ecoulements rotationnels de fluides parfaits incompressibles . . .	53
1.5.3.1. Equation de transport du tourbillon	53
1.5.3.2. Mouvements particuliers	54
1.6. Exemples de problèmes de fluide parfait compressible :	
onde de choc, écoulement dans une tuyère, théorie des caractéristiques. . .	55
1.6.1. Théorèmes généraux	55
1.6.2. Propagation du son dans un gaz idéal	56
1.6.2.1. Vitesse de propagation d'une petite perturbation dans un milieu au repos	56
1.6.2.2. Application : écoulement stationnaire de fluide parfait compressible et gaz idéal	56
1.6.3. Discontinuités	57
1.6.4. Caractéristiques instationnaires : équations de base.	58
1.6.5. Onde de choc droite stationnaire. Relations d'Hugoniot et de Prandtl	59
1.6.6. Ecoulement dans une tuyère de Laval	60
1.6.6.1. Configurations d'écoulement.	60
1.6.6.2. Calcul des paramètres en écoulement continu stationnaire	64
1.6.7. Onde simple	65
1.7. Exemples de problèmes de fluides visqueux	68
1.7.1. Equations générales.	68
1.7.2. Fluide incompressible visqueux	68
1.7.2.1. Equations générales	68
1.7.2.2. Equations décrivant le mouvement d'un fluide incompressible 2D plan	70
1.7.2.3. Couche limite stationnaire au-dessus d'une plaque plane	70
1.7.3. Ecoulement de fluide dissipatif compressible : structure d'une onde de choc	72
1.8. Exercices	75
1.8.1. Exercices de cinématique (section 1.2)	75
1.8.1.1. Mouvement semi-stationnaire	75
1.8.1.2. Ecoulement autour d'un cylindre	75
1.8.1.3. Mouvement rectiligne continu	76
1.8.1.4. Mouvement rectiligne discontinu (suite de 1.8.1.3).	77
1.8.2. Exercices de thermodynamique (section 1.3).	77