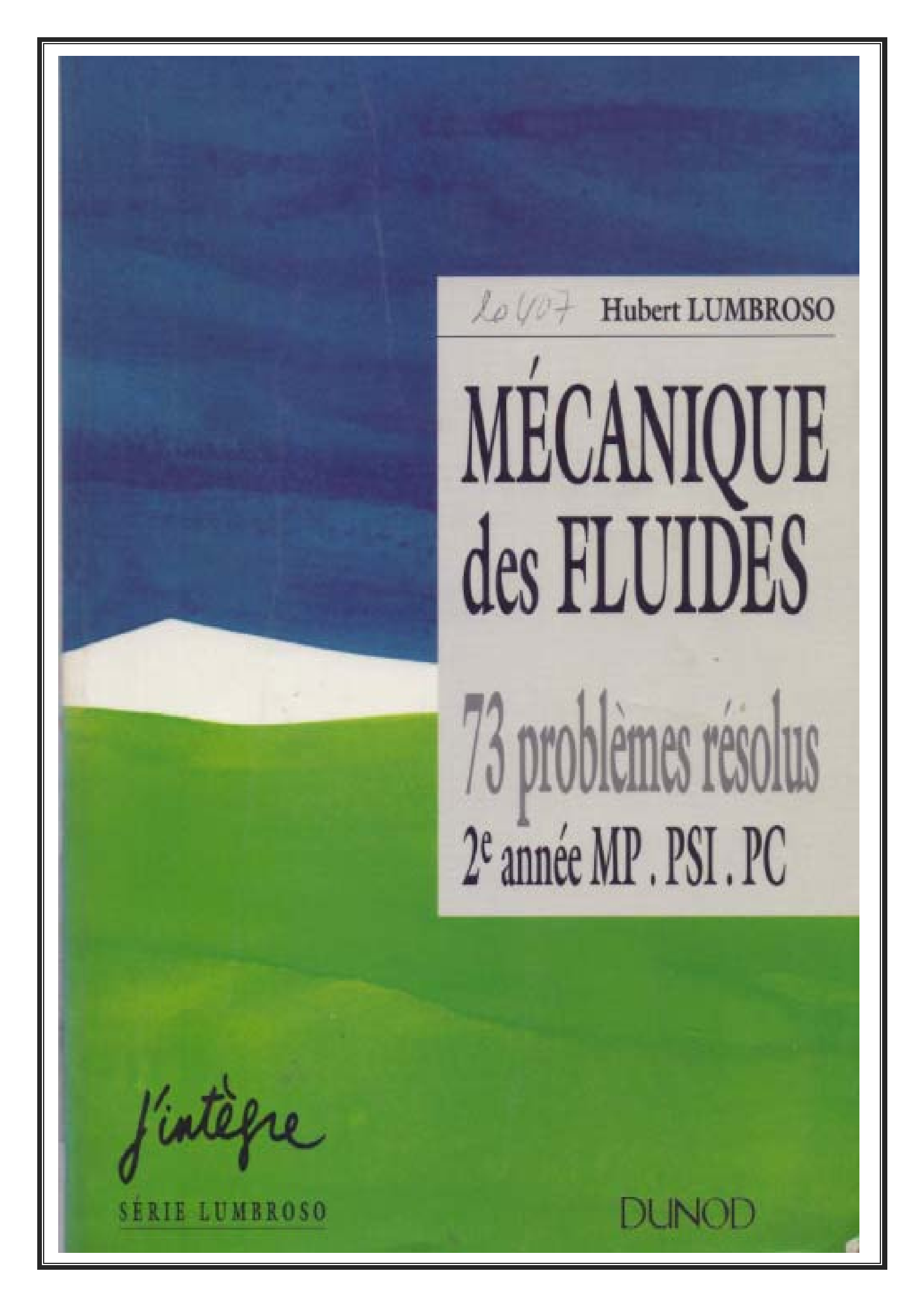




Lo 407 Hubert LUMBROSO

MÉCANIQUE des FLUIDES

73 problèmes résolus
2^e année MP . PSI . PC

L'intégrale

SÉRIE LUMBROSO

DUNOD

Table des matières

1^{re} partie : FLUIDES EN ÉCOULEMENT PARFAIT

CHAPITRE 1. CINÉMATIQUE DES FLUIDES. CHAMP DE VITESSE

Rappels de cours

1. Descriptions lagrangienne et eulérienne du mouvement du fluide. Champ de vitesse	3
2. Accélération, vecteur tourbillon et vitesse locale	4
3. Équations de conservation de la masse d'un fluide. Débit massique	5
4. Classification des écoulements laminaires des fluides	7
5. Propriétés des écoulements rotationnels et irrotationnels. Potentiel des vitesses. Circulation de $\mathbf{v}$	8
6. Lignes de courant, équipotentielles et isobares dans un fluide	9
7. Potentiel complexe et fonction courant d'un écoulement potentiel (*)	10
Problèmes du chapitre 1	11

CHAPITRE 2. DYNAMIQUE DES FLUIDES. ÉQUATIONS D'EULER ET DE BERNOULLI

Rappels de cours

1. Équations d'Euler locales	85
2. Équations de Bernoulli	87
3. Mise en équation des problèmes de dynamique des fluides	88
Problèmes du chapitre 2	89

CHAPITRE 3. BILANS DYNAMIQUES ET THERMODYNAMIQUES DES FLUIDES EN MOUVEMENT

Rappels de cours

1. Théorème de la résultante cinétique des systèmes fermé et ouvert	201
2. Théorème du moment cinétique des systèmes fermé et ouvert	204
3. Théorème de l'énergie cinétique des systèmes fermé et ouvert	204
4. Bilan thermodynamique de fluides en écoulement unidimensionnel	206
Problèmes du chapitre 3	208

2^e partie : FLUIDES EN ÉCOULEMENT VISQUEUX

CHAPITRE 4. VISCOSITÉ ET NOMBRE DE REYNOLDS. ÉCOULEMENTS LAMINAIRES

Rappels de cours

1. Forces de viscosité et coefficient de viscosité absolue η	283
2. Force volumique de viscosité. Équation de Navier-Stokes	284
3. Viscosité cinématique ν . Diffusion et convection. Nombre de Reynolds	285
4. Écoulements laminaire et turbulent. Nombre de Reynolds critique	286
5. Traînée d'une sphère en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide	288
6. Écoulement de Poiseuille dans une conduite cylindrique	290
Problèmes du chapitre 4	291

Table des problèmes

1^{re} partie : FLUIDES EN ÉCOULEMENT PARFAIT (*)

CHAPITRE 1. CINÉMATIQUE DES FLUIDES, CHAMP DE VITESSE

A. ÉCOULEMENTS PLANS

1. Lignes de courant et accélération d'un écoulement plan. Descriptions lagrangienne et eulérienne	11
2. Écoulement plan irrotationnel autour d'un point d'arrêt	15
3. Écoulement plan rotationnel de l'atmosphère : composition des vitesses	18
4. Écoulement plan irrotationnel : potentiel complexe ; lignes de courant	23

B. ÉCOULEMENTS À RÉPARTITION SYMÉTRIQUE

5. Champ des vitesses d'un écoulement incompressible à symétrie axiale	27
6. Écoulement potentiel d'une source rectiligne à symétrie cylindrique	31
7. Écoulement potentiel tridimensionnel autour d'un point d'arrêt	34
8. Vitesse et accélération d'un fluide dans un dièdre. Lignes de champ	36

C. ÉCOULEMENTS AUTOUR DE SPHÈRES OU CYLINDRES (**)

9. Écoulement irrotationnel d'un fluide autour d'un cylindre immobile	43
10. Écoulement irrotationnel d'un fluide autour d'une sphère immobile	47
11. Écoulement d'un fluide autour d'une sphère en mouvement uniforme	51

D. SUPERPOSITION DE DEUX ÉCOULEMENTS. IMAGE HYDRODYNAMIQUE

12. Source ponctuelle dans un écoulement fluide uniforme	56
13. Superposition des écoulements d'une source et d'un puits rectilignes	58
14. Superposition de l'écoulement d'un doublet et d'un écoulement uniforme	62
15. Source rectiligne devant un mur. Image hydrodynamique	64
16. Fluide autour d'un cylindre en rotation : décomposition en deux écoulements. Points d'arrêt	68

(*) Les Problèmes relatifs aux fluides au repos sont traités au chapitre 2 de l'ouvrage du même auteur : « Thermodynamique I et Statique des fluides » (Édiscience, 1995).

(**) Cf. aussi le problème n° 16 de ce chapitre I.

E. VENT ET CYCLONE, VORTEX

17. Vitesse du vent et puissance éolienne : modèle de Weibull	72
18. Le cyclone : écoulement rotationnel de l'air atmosphérique	75
19. Écoulement rotationnel : équivalence hydrodynamique-magnétostatique. Vortex	79

CHAPITRE 2. DYNAMIQUE DES FLUIDES. ÉQUATIONS D'EULER ET DE BERNOULLI

A. VIDANGES DE LIQUIDES

1. Vidange d'un réservoir cylindrique. Horloge à eau	89
2. Durée de la vidange d'eau d'un réservoir sphérique	93
3. Vitesse d'éjection d'un liquide surmonté d'air comprimé	95
4. Vidange par un long tuyau horizontal. Régime transitoire	98
5. Débit et puissance à la sortie d'une conduite barrage-turbine. Phénomène de cavitation	103

B. MESURES DE DÉBITS

6. Mesure du débit d'eau dans une canalisation. Tubes de Venturi	107
7. Débitmètres : tubes de Pitot à point d'arrêt ; manomètres différentiels	111

C. FLUIDES EN MOUVEMENT À SYMÉTRIE CYLINDRIQUE OU SPHÉRIQUE

8. Champ de pression d'un fluide autour d'un cylindre fixe	116
9. Cylindre en rotation dans un vent uniforme. Effet Magnus : cylindre lifté ou coupé	120
10. Champ de pression d'un fluide en écoulement potentiel non permanent autour d'une sphère fixe	124
11. Champ de pression d'un fluide autour d'une sphère en translation uniforme	128
12. Mouvement d'un fluide à symétrie sphérique incompressible	131
13. Mouvement d'une couche liquide sphérique sous pression constante	135

D. OSCILLATIONS DE SYSTÈMES HYDRAULIQUES

14. Équation d'Euler en régime variable. Oscillations du liquide d'un tube en U	140
15. Oscillations du liquide dans un tube coudé : méthodes dynamique et énergétique	144
16. Oscillations d'un système hydraulique à deux réservoirs : régimes permanent et non permanent	147
17. Oscillations de relaxation. Dispositif à siphon : vase de Tantale	152

E. ÉCOULEMENT DANS UN CANAL

18. Écoulement permanent dans un canal. Régimes torrentiel et fluvial	158
19. Débit d'un canal. Profondeur critique. Ressaut d'une onde de choc	160

F. DYNAMIQUE DES FLUIDES DANS UN RÉFÉRENTIEL NON GALILÉEN

- | | | |
|-----|--|-----|
| 20. | Équation d'Euler dans le référentiel terrestre.
Vents géostrophique et agéostrophique. Isobares | 166 |
| 21. | Fluides en rotation uniforme dans un tube en T. Pompe à eau | 172 |

G. ONDES PROGRESSIVES ET STATIONNAIRES DE GRAVITATION DANS LES FLUIDES

- | | | |
|-----|--|-----|
| 22. | Propagation de la houle dans un bassin en eau profonde | 176 |
| 23. | Propagation de la houle dans un bassin d'eau de profondeur finie | 182 |
| 24. | Champ de pression, équation de dispersion et célérité d'une onde
sur l'interface de deux couches d'air semi-infinies | 186 |
| 25. | Champ de pression, équation de dispersion et célérité d'une onde de gravitation
sur l'interface de deux couches d'air d'épaisseurs finies | 189 |
| 26. | Ondes stationnaires de gravitation dans une piscine.
Quantification des fréquences de l'onde | 194 |

CHAPITRE 3. BILANS DYNAMIQUES ET THERMODYNAMIQUES DES FLUIDES EN MOUVEMENT

A. FORCES EXERCÉES PAR LES FLUIDES EN MOUVEMENT (*)

- | | | |
|----|--|-----|
| 1. | Réaction d'un jet d'eau. Action d'un liquide sur un convergent et sur un coude | 208 |
| 2. | Division et déflexion de jets d'eau sur des obstacles fixes | 213 |

B. BILANS DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT ET DE MOMENT CINÉTIQUE

- | | | |
|----|--|-----|
| 3. | Propulsion d'une fusée à un étage : bilan des quantités de mouvement | 217 |
| 4. | Tourniquet hydraulique : débit de moment cinétique. Vitesse limite.
Rendement énergétique | 222 |

C. THERMODYNAMIQUE DES FLUIDES EN ÉCOULEMENT (**)

- | | | |
|----|---|-----|
| 5. | Chambre de combustion d'un turboréacteur. Équations de l'écoulement.
Bilan énergétique | 227 |
| 6. | Perte de charge dans un brusque élargissement. Formule de Bélanger.
Application | 232 |
| 7. | Écoulements adiabatique subsonique et supersonique d'un gaz compressible
dans une tuyère. Nombre de Mach | 237 |
| 8. | Écoulement isentropique dans une tuyère. Bilan énergétique | 244 |

(*) Cf. aussi les problèmes 12, 13, 14 et 15 de ce chapitre 3.

(**) Cf. aussi les problèmes 22, 23, 24, 25 et 26 du chapitre 3 dans l'ouvrage « Thermodynamique I, Problèmes résolus » (Édiscience, 1995) du même auteur.

D. BILANS D'ÉNERGIE ET D'ENTROPIE (*)

9. Vitesse d'écoulement d'un gaz par un trou. Bilan énergétique	249
10. Canon à eau sur une plaque courbe mobile. Rendement optimal	253
11. Énergie du fluide stellaire. Fonction de Hubble	256

E. BILANS DYNAMIQUES ET THERMODYNAMIQUES DES FLUIDES

12. Hélicoptère en vol stationnaire et en vol vertical uniforme	261
13. Rendement d'une turbine Pelton. Fréquence optimale	266
14. Éolienne : force, vitesse, puissance et rendement	269
15. Onde de choc dans un gaz compressible. Bilans de masse et d'énergie	274

2^e partie : FLUIDES EN ÉCOULEMENT VISQUEUX

CHAPITRE 4. VISCOSITÉ ET NOMBRE DE REYNOLDS. ÉCOULEMENTS LAMINAIRES

A. MESURE DE LA VISCOSITÉ D'UN FLUIDE : VISCOSIMÈTRES

1. Transport d'un liquide visqueux dans une conduite cylindrique	291
2. Loi de vidange d'un liquide visqueux. Mesure de la viscosité. Nombre de Reynolds	293
3. Fluide visqueux entre deux cylindres en rotation relative. Viscosimètre de Couette	296

B. ÉCOULEMENT LAMINAIRE DE POISEUILLE DANS UN CYLINDRE

4. Débit et énergie cinétique d'un fluide visqueux de vitesse à répartition parabolique	301
5. Loi de distribution de vitesse parabolique dans un cylindre. Contrainte de viscosité	303
6. Écoulement laminaire dans un cylindre : forces de viscosité et coefficient de frottement. Perte de charge	307
7. Écoulement laminaire de Poiseuille. Résistance hydrodynamique. Cas d'un milieu poreux	310

(*) Cf aussi les problèmes 11 et 14 du chapitre 4 dans l'ouvrage : « Thermodynamique 1. Problèmes résolus » (Édiscience, 1995) de même auteur.

C. ÉCOULEMENTS AUTOUR DE PLANS, CYLINDRE OU SPHÈRE MOBILES

8. Écoulement d'un fluide entre deux plans horizontaux en mouvement relatif, avec gradient de pression	315
9. Force volumique de viscosité. Équation de diffusion. Application à un écoulement parallèle oscillant	320
10. Traînée d'une sphère en mouvement uniforme dans un fluide. Influence du nombre de Reynolds	324
11. Loi des vitesses d'un liquide visqueux autour d'un cylindre oscillant. Force de viscosité	328

D. TRAÎNÉE ET PORTANCE. SIMILITUDES (*)

12. Coefficients de traînée et de portance d'un avion et d'un cerf-volant	333
13. Similitude dynamique. Essais de modèles réduits d'avion	336

(*) Cf. aussi le problème 1 (5^e question) de ce chapitre 4.