

Table des matières

VOLUME I

Thermodynamique et énergétique

710 pages

VOLUME II

Problèmes résolus et exercices

Avant-propos V

1. GÉNÉRALITÉS ET PRINCIPES FONDAMENTAUX

1.A Refroidissement d'une pièce de cuivre	1
1.B Choc d'un récipient contre un mur	3
1.C Transfert-travail relatif à un système fermé	6
1.D Puissance-travail d'une turbine à vapeur	7
1.E Frein à eau	9
1.F Irréversibilité dans un compresseur réfrigéré	10
1.G Irréversibilité dans un transmetteur d'énergie-chaleur	12
1.H Refroidissement isobare	14
1.I Oxydation du glucose	16
1.J Transfert-travail et transfert-chaleur relatifs à un système fermé	17
1.K Batterie d'automobile	18
1.L Freinage d'une voiture	18
1.M Irréversibilité lors d'un chauffage	19

2. SYSTÈMES FERMÉS MONOPHASES

2.A Compression polytrophe	21
2.B Facteurs thermiques	23

2.C	Facteur polytrophe	24
2.D	Chaleur spécifique isochore	26
2.E	Variation d'entropie d'un gaz	28
2.F	Variations d'enthalpie et d'entropie d'un liquide	29
2.G	Choc d'une sphère en chute libre	31
2.H	Remplissage d'une bouteille	33
2.I	Détente sans dissipation	34
2.J	Expérience de Torricelli	36
2.K	Relations de Maxwell	37
2.L	Compression isotherme	38

3. PROPRIÉTÉS THERMODYNAMIQUES DE LA MATIÈRE

3.A	Fonctions d'état d'un gaz parfait	41
3.B	Expérience de Gay-Lussac-Joule	43
3.C	Détente de Joule-Thomson	45
3.D	Détente irréversible d'un gaz parfait	48
3.E	Détentes réversibles d'un gaz parfait	51
3.F	Energie-travail relative à une détente isotherme	56
3.G	Chauffage isochore de l'eau	58
3.H	Equations d'état	60
3.I	Fusion par compression	63
3.J	Mesures calorimétriques	66
3.K	Théorie cinétique des gaz	69
3.L	Atmosphère terrestre	69
3.M	Equilibre d'un ballon-sonde	71
3.N	Chauffage et vaporisation partielle isobares de l'eau	72
3.O	Chauffage isochore et refroidissement isobare d'un gaz parfait	73
3.P	Chaleur de vaporisation	74

4. TRANSFORMATIONS ET DIAGRAMMES THERMODYNAMIQUES

4.A	Compression de l'oxygène suivant différents chemins	77
4.B	Compression de l'air dans différentes conditions	81
4.C	Détente adiabate d'un gaz semi-parfait	86
4.D	Vidange d'une bouteille d'air comprimé	89
4.E	Alimentation d'une turbine de lancement	91
4.F	Détente de la vapeur d'eau dans une turbine	93
4.G	Changements de phase de l'eau	96
4.H	Déplacement d'un piston par dilatation d'un gaz	99
4.I	Transformations relatives à la détente de l'hélium	102
4.J	Cycle théorique d'un moteur à air chaud	106
4.K	Cycle théorique d'un moteur Diesel	110
4.L	Transformations thermodynamiques typiques	115
4.M	Condensation d'un fluide frigorigène	121
4.N	Changements de phase du dioxyde de carbone	122

4.O	Production d'air comprimé	124
4.P	Transformations au cours d'un cycle	124
5. EXEMPLES SIMPLES D'APPLICATION DES PREMIER ET DEUXIÈME PRINCIPES		
5.A	Transformation d'énergie mécanique en énergie interne (expérience de Joule)	127
5.B	Détente sans transfert-travail (expérience de Gay-Lussac-Joule) . . .	127
5.C	Détente avec transfert-travail	128
5.D	Transformations d'énergie	128
5.E	Evolution d'un système hétérogène	129
5.F	Transfert-chaleur entre deux corps	130
6. BILANS DES GRANDEURS EXTENSIVES		
6.A	Collecteur-distributeur d'eau	131
6.B	Pesée d'un récipient	132
6.C	Mélange de deux jets liquides	134
6.D	Vidange d'un réservoir	136
6.E	Propulsion d'un bateau	139
6.F	Lancement d'une fusée	140
6.G	Embranchement	143
6.H	Force de réaction sur une conduite coudée	144
6.I	Poussée d'un turboréacteur	145
7. SYSTÈMES OUVERTS, EN RÉGIME PERMANENT		
7.A	Cheminée d'une centrale thermique	147
7.B	Installation de chauffage central d'un bâtiment	150
7.C	Gonflage d'un pneu	153
7.D	Installation de suralimentation d'un moteur Diesel	156
7.E	Compresseur radial	159
7.F	Diffuseur d'entrée d'un turboréacteur	163
7.G	Tube de Pitot	166
7.H	Écoulement dans un canal de section constante	167
7.I	Écoulement dans une tuyère simple	170
7.J	Écoulement dans une tuyère de Laval	172
7.K	Turbine Curtis	175
7.L	Ejecteur (voir aussi problème 10.J)	181
7.M	Installation de compression	188
7.N	Tube de Prandtl	189
7.O	Dimensionnement d'une tuyère de Laval	190
7.P	Mesure de débit à l'aide d'un diaphragme (voir aussi exercice 10.L) .	191

8. MÉLANGES DE GAZ PARFAITS OU SEMI-PARFAITS

8.A	Caractéristiques d'un gaz de ville	193
8.B	Compression d'un mélange d'azote et d'argon	195
8.C	Chauffage et compression de gaz de combustion	197
8.D	Mélange de gaz s'écoulant dans un transmetteur d'énergie thermique	199
8.E	Mélange d'azote et de dioxyde de carbone, dans une enceinte fermée	201
8.F	Fabrication d'air synthétique	203
8.G	Détentes et mélanges de gaz	207
8.H	Changement des teneurs d'un mélange d'azote et de dioxyde de carbone	212
8.I	Mélange d'air et de méthane, en régime permanent	214
8.J	Caractéristiques d'un mélange d'oxygène et d'azote	216
8.K	Caractéristiques d'un gaz de haut-fourneau	217
8.L	Compression d'un mélange d'éthane et d'air	217
8.M	Changement de la composition et compression d'un mélange d'éthane et de propane	218
8.N	Introduction d'azote dans un réservoir d'hydrogène	220
8.O	Conditionnement de fumées destinées au séchage	221

9. MÉLANGES D'UN GAZ ET D'UNE SUBSTANCE CONDENSABLE

9.A	Mélange de deux mélanges	223
9.B	Tour de refroidissement humide	225
9.C	Humidification de l'air d'un local	229
9.D	Condensation sur une paroi	232
9.E	Compresseur paraïsotherme	234
9.F	Séchage d'un produit	239
9.G	Climatisation d'une piscine couverte	244
9.H	Climatisation d'un bureau en été	249
9.I	Caractéristiques de l'air atmosphérique	256
9.J	Refroidissement de l'air par humidification	257
9.K	Chambre froide	258
9.L	Climatisation d'un bureau en hiver	259

10. ÉNERGÉTIQUE THERMODYNAMIQUE

10.A	Resurchauffeur d'une centrale nucléaire	263
10.B	Chambre froide d'une installation frigorifique	265
10.C	Condenseur d'une installation motrice à vapeur	269
10.D	Rechauffeurs à mélange et à surface	272
10.E	Turbine haute pression de la centrale de Leibstadt	275
10.F	Compresseur paraïsotherme d'une installation frigorifique	277
10.G	Compresseur réfrigéré	281
10.H	Installation de production d'air liquide	284
10.I	Prix de l'énergie relatif à une installation combinée	291
10.J	Ejecteur	295

10.K	Détente sans transfert-travail (expérience de Gay-Lussac-Joule) . . .	297
10.L	Ecoulement dans un diaphragme	298
10.M	Transfert-chaleur entre deux corps	298
10.N	Mélange isochore de deux gaz	299
10.O	Mélange de plusieurs gaz, en régime permanent	300
10.P	Chauffage isochore	301
10.Q	Chauffage isobare	302
10.R	Chauffage en régime permanent	302
10.S	Accumulateur d'énergie thermique	304
11. COMBUSTION		
11.A	Combustion d'une huile légère	307
11.B	Combustion d'une huile lourde	309
11.C	Combustion de gaz naturel	315
11.D	Point de rosée d'un gaz de combustion	320
11.E	Chambre de combustion d'une centrale thermique	322
11.F	Chaudière à vapeur industrielle	327
11.G	Refroidissement et diffusion d'un panache de gaz de combustion dans l'atmosphère	335
11.H	Moteur à essence	338
11.I	Combustion incomplète	341
11.J	Turboréacteur d'aviation	344
11.K	Bombe calorimétrique	349
11.L	Influence des conditions de référence sur le pouvoir énergétique Δh_{0i}	350
11.M	Caractéristiques d'un combustible liquide	352
11.N	Combustion de l'hexane	352
11.O	Chambre de combustion d'une installation à gaz	353
11.P	Déperdition d'une chambre de combustion	355
12. EXEMPLES D'APPLICATION DES CHAPITRES 10 ET 11 DU VOLUME I		
12.A	Chambre de combustion	357
12.B	Chaudière à vapeur	358
12.C	Moteur à combustion interne	362
13. CYCLES THERMODYNAMIQUES		
13.A	Cycle de Beau-de-Rochas ou de Otto	365
13.B	Cycle de Stirling	369
13.C	Pseudo-cycle de Ericsson	372
13.D	Cycle d'un moteur à air chaud	375
13.E	Cycle de Diesel simple	377
13.F	Cycle de Brayton	381

13.G	Cycle de Rankine	386
13.H	Cycle de turboréacteur	389
13.I	Cycle de Brayton inversé	395
13.J	Cycle de Carnot	399
13.K	Cycle de Diesel amélioré	399
13.L	Cycle de statoréacteur	402
13.M	Cycles de thermopompe superposés	404
13.N	Pseudo-cycle de Stirling inversé	405
13.O	Pseudo-cycle de Ericsson inversé	407
13.P	Etude comparative de cycles moteurs théoriques	408
13.Q	Etude comparative de thermopompes théoriques	411
13.R	Etude comparative de cycles de frigopompes théoriques	413
13.S	Etude de cycles combinés théoriques	416

14. EXEMPLES D'APPLICATION DES CHAPITRES 10 À 13 DU VOLUME I

14.A	Réfrigération atmosphérique d'un condenseur	419
14.B	Installation motrice à gaz en circuit ouvert, industrielle	423
14.C	Installation motrice à cycles combinés gaz-vapeur	435
14.D	Installation motrice à gaz, en circuit fermé, à deux lignes d'arbres	438
14.E	Installation de thermopompe à compression	443
14.F	Installation de frigopompe à compression	449
14.G	Installation de production d'hélium liquide	455
14.H	Installation de frigopompe à turbocompression	461
14.I	Installation à vapeur, simple	466
14.J	Installation à vapeur, à resurchauffe	467
14.K	Installation à vapeur, à soutirage	468
14.L	Installation à vapeur, en régime quasi permanent	468
14.M	Installation à vapeur, combinée travail-chaleur	469
14.N	Installation à gaz, en circuit ouvert	470
14.O	Installation de thermopompe avec compresseur semi-hermétique	473
14.P	Installation de frigopompe avec sous-refroidisseur	475

15. THERMODYNAMIQUE LINÉAIRE DES PHÉNOMÈNES IRRÉVERSIBLES

15.A	Source d'entropie dans un barreau	481
15.B	Thermocouple	484
15.C	Générateur thermoélectrique	486
15.D	Module thermoélectrique	492
15.E	Thermopompe thermoélectrique	498