

TABLE DES MATERIES

NOTATIONS ET CONSTANTES	5
Notations	5
Constantes fondamentales.....	6
Programme traité.....	6
Conventions typographiques	8
 1 - LA NATURE DE LA THERMODYNAMIQUE	 9
1.1. Historique	9
1.2. Systèmes de points matériels	10
1.2.1. Description des systèmes de points	10
1.2.2. Théorème de Koenig.....	11
1.2.3. Théorème de l'énergie cinétique	12
1.3. Systèmes thermodynamiques.....	13
1.3.1. Qu'est ce qu'un système thermodynamique ?.....	13
1.3.2. Etats d'équilibre et évolution vers l'équilibre.....	14
1.3.3. Facteurs d'échelle	15
<i>Surfaces et volumes</i>	16
<i>Description statistique des systèmes thermodynamiques</i>	16
1.4. Variables d'état	17
1.4.1. Définition	17
1.4.2. Extensivité et intensivité	18
1.4.3. Phases.....	19
1.4.4. Equations d'état, variance	22
1.4.5. Fonctions d'état	23
1.4.6. Formes différentielles	24
<i>Théorème de Schwartz</i>	24
1.5. Variables et fonctions extensives	26
1.6. Variables et fonctions intensives	28
1.6.1. La température	29
1.6.2. Les thermomètres.....	30
1.6.3. La pression.....	34
1.6.4. Les manomètres	34
Exercices du chapitre 1.....	37
1 Chocs de particules	37
2 Echelle Fahrenheit.....	38

3	Thermomètre à dilatation de Mercure	38
4	Thermomètre à résistance de Platine (1)	39
5	Thermomètre à résistance de Platine (2)	40
2 - LES FORCES DE PRESSION		43
2.1. Forces de pression.....		43
2.1.1. Généralités		43
<i>Contraintes et viscosité</i>		44
2.1.2. Travail des forces de pression		45
2.2. Statique des fluides		46
2.2.1. Répartition volumique équivalente des forces pressantes		46
<i>Lien avec le théorème du gradient</i>		48
2.2.2. Equation fondamentale de la statique des fluides		49
2.3. Coefficients thermoélastiques.....		49
2.3.1. Définition		49
<i>L'invar</i>		51
2.3.2. Liens avec l'équation d'état.....		53
2.3.3. L'équation d'état, conséquence de la mesure de α , β , χ_T		54
2.4. Fluides incompressibles et compressibles		56
<i>Applications de l'incompressibilité des liquides</i>		57
2.5. Champ de pression dans un fluide		58
2.5.1. Fluide incompressible		58
<i>Plongée sous-marine</i>		61
2.5.2. Fluide compressible		64
2.6. Théorème d'Archimède		65
2.6.1. Enoncé.....		65
2.6.2. Point d'application.....		67
<i>Centre de poussée</i>		67
2.6.3. Conséquences de la Poussée d'Archimède		68
Exercices du chapitre 2		71
1	Manomètre à deux liquides non miscibles	71
2	Capteur capacitif (2).....	71
3	Capteur piézoélectrique.....	73
4	Poussée d'Archimède	74
5	Gonflage d'un ballon.....	75
6	Efforts sur un solide immergé	76
7	Fluide entraîné en rotation	77
8	La sphère du Parc Le Près La Rose	78
9	Forces de viscosité	80

3 - LA TEMPERATURE	83
3.1. Température absolue	83
3.1.1. Isothermes d'Amagat	83
3.1.2 Température absolue	84
3.2. Le modèle du gaz parfait monoatomique	86
3.2.1. Nature du modèle	86
<i>Chocs intermoléculaires et équilibre thermique</i>	87
3.2.2. Pression cinétique	88
<i>Amélioration du modèle pour le calcul de la pression cinétique</i>	90
3.2.3. Température cinétique	93
3.3. Généralisation : les gaz parfaits	94
3.3.1. Gaz parfaits et degrés de liberté	94
3.3.2. Capacité thermique isochore	96
3.4. Equilibre de l'atmosphère isotherme	97
3.4.1. Répartition de la pression	97
3.4.2. Interprétation : le facteur de Boltzmann	99
3.5. Autres systèmes simples ou non	100
3.5.1. Gaz réels	100
3.5.2. Liquides	102
<i>Tension superficielle</i>	103
3.5.3. Solides	105
3.5.4. Piles	106
Exercices du chapitre 3	107
1 Ascension d'un aérostat dans l'atmosphère	107
2 Pression au fond d'une fosse océanique	108
3 Thermomètre à dilatation de gaz	109
4 - LE PREMIER PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE	111
4.1. Le premier principe	111
4.1.1. Rappels	111
4.1.2. Energie interne des systèmes thermodynamiques	112
4.1.3. Transferts de travail, transferts thermiques	112
4.1.4. Le premier principe de la Thermodynamique	114
4.2. Transfert de travail	116
4.2.1. Forces de pression	116
4.2.2. Autres forces	122
4.3. Transferts thermiques	123
4.4. Phénoménologie des transferts thermiques	124
4.4.1. La conduction	124
4.4.2. La convection	126
4.4.3. Le rayonnement	127
4.5. Coefficients calorimétriques	128

4.5.1. Définitions	128
4.5.2. Le cas des gaz parfaits	131
4.5.3. Généralisation	133
4.6. Transferts thermiques des gaz parfaits	134
4.6.1. Détente de Joule, Gay-Lussac	134
4.6.2. Transformations monobares et isobares	135
4.6.3. Transformations monothermes et isothermes.....	137
4.6.4. Transformations adiabatiques.....	137
Exercices du chapitre 4.....	139
1 Cycle moteur à air	139
2 Compresseur à piston	139
3 Amortissement d'oscillateur	140
4 Détente irréversible dans le vide	142
5 Détente irréversible contre un piston à ressort.....	142
6 Evolution en vase clos.....	143
7 Etude thermodynamique du moteur Diesel	145
8 Transformations polytropiques	146
9 Méthode de Clément et Desormes	147
5 - ENTHALPIE ET ECOULEMENTS	149
5.1. La détente de Joule-Thomson	149
5.1.1. Définition	149
5.1.2. Propriétés	150
5.1.3. Applications	151
5.2. Enthalpie	153
5.2.1. Enthalpie et premier principe	153
<i>Caractéristiques énergétiques des systèmes réels.....</i>	155
5.2.2. Applications aux installations industrielles	157
5.3. Systèmes en écoulement rapide	160
5.3.1. Retour sur le premier principe	160
5.3.2 Détente dans une tuyère.....	161
5.3.3 Cas des liquides incompressibles	162
Exercices du chapitre 5.....	165
1 Vitesse d'éjection d'une tuyère.....	165
2 Pompe à vide	165
3 Etude d'un climatiseur	166
6 - TRANSPORT DE GRANDEURS EXTENSIVES	169
6.1. Diffusion de particules.....	169
6.1.1. Description des inhomogénéités de matière.....	169
6.1.2. Loi de Fick	172
<i>Généralisation tridimensionnelle de la loi de Fick.....</i>	173
<i>Coordonnées cylindriques et sphériques.....</i>	174
6.1.3. Interprétation microscopique de la loi de Fick.....	176

6.1.4. Libre parcours moyen	177
6.2. Débits	179
6.2.1. Débit d'énergie	179
6.2.2. Débits de grandeurs extensives	181
6.3. Formes locales des débits	182
6.3.1. Vocabulaire des systèmes ouverts	182
6.3.2. Transport de grandeurs extensives	183
6.3.3. Expression de la dérivée convective (ou débit)	184
6.3.4. Densités locales de courant de matière.....	186
6.3.5. Grandeurs conservées	187
<i>Equations de continuité</i>	188
Exercices du chapitre 6	189
1 Diffusion d'impuretés dans une barre	189
2 Diffusion de molécules marquées	189
3 Source radioactive et courant électrique	190
4 Autodiffusion de molécules marquées	192
5 Equilibre de diffusion dans l'atmosphère isotherme.....	194
6 Diffusion unidimensionnelle	195
7 - THERMODYNAMIQUE DES SYSTEMES CHIMIQUES	197
7.1. Description des systèmes réagissants	197
7.1.1. La réaction chimique	197
7.1.2. Systèmes fermés réagissants.....	199
7.1.3. Stoechiométrie, avancement	199
7.2. Chaleur de réaction	201
7.2.1. Transformations monobares	202
7.2.2. Transformations isochores.....	204
7.3. Tables thermodynamiques	205
7.3.1. Etat standard	205
7.3.2. Grandeurs standards de réaction.....	206
7.3.3. Lois de Kirchhoff.....	209
<i>Déroulement d'une combustion</i>	213
7.4. Energie de diverses transformations.....	215
7.4.1. Enthalpie standard de changement d'état.....	215
7.4.2. Enthalpie standard de liaison.....	216
7.4.3. Enthalpies standards d'ionisation et d'attachement électronique.....	217
7.4.4. Enthalpie standard réticulaire	218
Exercices du chapitre 7	221
1 Grillage du mineraï de Plomb	221
2 Enthalpie de dosage acido-basique	222
3 Energie réticulaire d'un cristal	223
4 Température de flamme.....	223

5	Enthalpie d'hydrogénéation d'un alcène	224
6	Pression d'explosion	225
8 - MACHINES THERMIQUES	227
8.1.	Moteurs thermiques	227
8.1.1.	Introduction.....	227
8.1.2.	Le moteur à combustion interne à quatre temps	227
8.1.3.	Le moteur Diesel.....	231
8.1.4.	Les turboréacteurs.....	231
8.2.	Réfrigérateurs et pompes à chaleur	233
8.2.1.	Réfrigérateurs à compresseur	234
8.2.2.	Réfrigérateurs à absorption.....	235
8.2.3.	Pompes à chaleur	237
8.2.4.	Climatiseurs	238
	<i>Machines frigorifiques à effet Peltier</i>	239
8.3.	Modélisation des cycles dithermes	240
8.3.1.	Principe	240
8.3.2.	Moteur Beau de Rochas.....	240
8.3.3.	Moteur Diesel	242
8.3.4.	Moteur Stirling.....	243
8.3.5.	Turboréacteur.....	244
8.3.6.	Cycle à air de Joule.....	245
8.4.	Cycle de Carnot.....	245
8.4.1.	Définition	245
8.4.2.	Calcul du rendement	246
Exercices du chapitre 8	247
1	Rendement d'une centrale thermique.....	247
2	Cycle moteur à air	247
3	Etude d'un moteur à essence	248
4	Etude thermodynamique d'un réacteur	250
5	Moteur d'Archibald.....	252
9 - LE SECOND PRINCIPE DE LA THERMODYNAMIQUE	255
9.1.	Énoncé du principe	255
9.1.1.	Nécessité d'un principe d'évolution.....	255
9.1.2.	Forme du principe d'évolution	256
9.1.3.	Transformations réversibles	258
9.1.4.	Entropie et transformations réversibles.....	259
9.1.5.	Température et pression thermodynamiques.....	260
9.1.6.	Identification de la température thermodynamique	262
	<i>Températures négatives</i>	263
9.1.7.	Identification de la pression thermodynamique	264

9.1.8. Enoncé du second principe de la Thermodynamique	265
9.2. Irréversibilité.....	267
9.2.1. Causes mécaniques d'irréversibilité	267
9.2.2. Causes thermiques d'irréversibilité	268
9.2.3. Thermostat	269
9.2.4. Entropie transférée, entropie créée.....	271
9.2.5. Identification définitive de la température thermodynamique.....	272
9.3. Calculs d'entropie	274
9.3.1. Principe du calcul	274
9.3.2. Cas des gaz parfaits	277
9.3.3. Exemples.....	279
9.4. Interprétation statistique de l'entropie.....	283
9.4.1. Description des systèmes statistiques.....	283
9.4.2. Evolution des systèmes statistiques.....	284
9.4.3. Entropie statistique	287
<i>Un système à températures négatives</i>	288
9.4.4. Principe de limite thermique.....	289
9.4.5. Température statistique.....	290
9.4.6. Facteur de Boltzmann	292
<i>Propriétés de la fonction de partition</i>	293
Exercices du chapitre 9.....	295
1 Variation d'entropie d'un gaz parfait (1)	295
2 Variation d'entropie d'un gaz parfait (2)	296
3 Détente irréversible d'un gaz	296
4 Etude d'un compresseur (1)	298
5 Etude d'un compresseur (2)	298
6 Réfrigérateur ditherme irréversible	299
7 Cycle dans le diagramme (<i>T, S</i>).....	300
10 - APPLICATIONS DU SECOND PRINCIPE	303
10.1. Dégradation de l'énergie.....	303
10.2. Théorème de Carnot.....	307
10.2.1. Cycle de Carnot	307
10.2.2. Représentations du cycle de Carnot	308
10.2.3. Théorème de Carnot	310
10.3. Classification des machines thermiques	313
10.4. Enoncés historiques du second principe.....	316
10.5. Relations entre coefficients calorimétriques	318
10.5.1. Définition	318
10.5.2. Formulation différentielle des deux principes	319
10.5.3. Relations de Clapeyron.....	319

10.5.4. Loi de Mayer.....	321
10.6. Mélange idéal de gaz parfaits	322
10.6.1. Définitions	322
10.6.2. Energie interne d'un mélange.....	323
10.6.3. Entropie d'un mélange, théorème de Gibbs	324
10.6.4. Variation d'entropie lors d'un mixage	325
10.6.5. Paradoxe de Gibbs	326
Exercices du chapitre 10.....	327
1 Moteur thermique à sources variables.....	327
2 Chauffage d'une habitation	327
3 Fonctionnement d'un climatiseur.....	329
4 Comparaison de diverses méthodes de chauffage.....	330
5 Traction d'un fil	332
6 Tension superficielle	334

11 - LE CORPS PUR SOUS DEUX PHASES

CHANGEMENTS D'ETAT.....	337
11.1. Préliminaires	337
11.1.1. Changement d'état	337
11.1.2. Corps pur sous deux phases.....	338
11.1.3. Rappel sur les phases condensées	340
11.1.4. Variation des fonctions d'état lors d'un changement d'état	340
11.2. L'équilibre de changement d'état	341
11.2.1. Variance	341
11.2.2. Diagramme d'équilibre (p, T)	343
11.3. Autres diagrammes d'équilibre.....	345
11.3.1. Diagramme de Clapeyron	345
11.3.2. Diagramme entropique (T, s).....	346
11.4. Généralisation	350
11.4.1. Etats solide, liquide, vapeur	350
11.4.2. Etude particulière des points triples	351
11.4.3. Changements d'état de seconde espèce.....	352
<i>La supraconductivité</i>	353
Exercices du chapitre 11.....	355
1 Réfrigérateur et changement d'état	355
2 Pompe à chaleur et changement d'état	355
3 Compression isotherme d'un mélange binaire.....	357
4 Détente adiabatique d'un mélange saturant	358
5 Etude d'une chaudière.....	359
6 Complexe piscine - patinoire.....	362