

TABLE DES MATIÈRES

THERMODYNAMIQUE CLASSIQUE (MACROSCOPIQUE)

1^{re} série : Bases thermodynamiques

a – ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ Pression	1
2/ Température	2
3/ Équation d'état – Coefficients thermoélastiques	3
4/ Gaz parfait – Mélange idéal de gaz parfaits	4

b – AUTO-CONTRÔLE

1/ Mots clés/Phrases à trous	6
2/ Tests logiques	7

c – EXERCICES ET PROBLÈMES CORRIGÉS

1. PRESSION

Atmosphère isotherme (NAVALE 87)	11	Théorème d'Archimède	16
Atmosphère adiabatique (E.S.E.M. 86)	13	Forces de pression	17
Océan isotherme	14	Aérostats (I.N.T. 88)	19
Troposphère (MÉTÉO 87)	15		

2. TEMPÉRATURE

Thermistance	21	Thermomètre à gaz à P constante	24
Thermomètre à mercure (CAPES)	22	Réseau d'isothermes d'Amagat	26
Suppression dans un thermomètre à alcool	23		

3. ÉQUATION D'ÉTAT

COEFFICIENTS THERMOÉLASTIQUES

Fluide tel que $\alpha = \beta$	28	Gaz de Dieterici (d'après E.N.S.I.)	32
Équation d'état d'un gaz réel	28	Fil élastique	34
Gaz de Van Der Waals (NAVALE 84)	29		

4. GAZ PARFAIT
MÉLANGE IDÉAL DE GAZ PARFAITS

Équation de l'équation d'état	11	Mélange de gaz parfaits	91
État gaz parfait (gaz réel - voir A10 #7)	12	Thermodynamique différentielle	92
Loi de Mariotte locale (MINES DOUAI #6)	13	Compresseur à piston	93
Mélange idéal - Réversibilité	21		94

2^e série : Premier principe – Bilans énergétiques

a – ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ Nature des transformations	47
2/ Premier principe (système fermé) – Énergie interne, enthalpie	48
3/ Travail	49
4/ Chaleur	50
5/ Propriétés énergétiques des gaz parfaits	51
6/ Cas des mouvements d'ensemble et des systèmes ouverts	53

b – AUTO-CONTRÔLE

1/ Mots clés/Phrases à trous	57
2/ Tests logiques	58

c – EXERCICES ET PROBLÈMES CORRIGÉS

1. CALCULS

DE TRAVAUX ÉCHANGÉS

Cas du gaz parfait ou réel	62	Compression en deux étapes	
Cas d'un liquide (α, β, χ_T connus)	63	(T.R. STRASBOURG 89)	66
Bilan (gaz, atm, piston, opérateur)	64	Diagramme de Watt (E.N.S.I.E.T.A. 89)	68

2. CALCULS

DE CHALEURS ÉCHANGÉES

Capacité thermique moyenne	70	Rayonnement :	
Cas du gaz parfait	71	loi de Stefan et Newton (DEUG)	76
Expressions différentielles	72	Effet Joule + rayonnement	77
Transformation $P = kV$ du G.P.	74	Chauffage d'une école (MINES DOUAI 89)	79
Calorimétrie électrique	75	Expérience de Joule-Mayer	80

3. PREMIER PRINCIPE

PROPRIÉTÉS ÉNERGÉTIQUES DES GAZ PARFAITS

Compression isotherme/monotherme (d'après E.N.S.A.M.)	81	Compression adiabatique irréversible	89
Transformations isochore puis isotherme	83	Transformations couplées (d'après MINES DOUAI)	90
Briquet à air	85	Couplage par Hg dans un tube en U	92
Loi de Laplace d'un mélange idéal	86	Transformations cycliques (d'après AIR)	94
Oscillations adiabatiques réversibles	87		

4. MOUVEMENTS D'ENSEMBLE

SYSTÈMES OUVERTS

Détente dans une tuyère (E.N.S.I. T.A. 86)	96	Admission - Détente de Joule-Gay Lussac (E.N.S. CACHAN 82)	103
Bilan énergétique de l'écoulement (E.N.S.I. CHIMIE CENTRE 85)	99	Formule de Bernoulli	104
Entrée d'air dans un réceptacle vide	101		

3^e série : Second principe - Bilans entropiques

a - ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ La fonction d'état entropie	107
2/ Transformations des gaz parfaits	110
3/ Machines thermiques	111

b - AUTO-CONTRÔLE

1/ Mots clés/Phrases à trous	113
2/ Tests logiques	114

c - EXERCICES ET PROBLÈMES CORRIGÉS

1. FONCTION ENTROPIE - BILAN ENTROPIQUE

Entropie du gaz parfait $S_{(p,v)}$	117	Principe de Nernst	120
Énergie interne et enthalpie $f_{(p,s)}$	118	Critère de réversibilité	121
Cas de $C_{vm} = f(\eta)$	120		

2. TRANSFORMATIONS RÉVERSIBLES OU IRRÉVERSIBLES

Détente isotherme réversible	122	Entrée d'air - Bilan entropique	129
Transformation monotherme	123	Mélange à énergie interne constante (d'après MINES DOUAI)	130
N décharges adiabatiques irréversibles (E.N.S. CACHAN 80)	124	Mélange adiabatique et isobare	132

3. MACHINES THERMIQUES - CYCLES DIVERS

Diagramme de Paveau (DEUG)	133	Diagramme entropique	140
Pompe à chaleur classique (E.N.A.C. 86)	134	Rendements comparés de cycles	142
Moteur réversible avec pseudosources (E.N.A.C. 86)	136	Moteur diesel (MINES D'ALÈS 86)	144
Moteur irréversible	137	Moteur à essence (F.E.S.I.C. 90)	147
Couplage moteur-pompe à chaleur	138	Équilibre thermique avec une pseudosource	149
Climatiseur	139	Cycle de Stirling (E.N.S.I. M 87)	151

4. EXEMPLES DE SYSTÈMES OUVERTS

Turbopropulseur (I.N.T. 85)	157	Étude d'un compresseur - Transformation polytropique (E.N.S.I. M 90)	160
-----------------------------	-----	--	-----

4^e série : Applications différentielles des deux principes

a - ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ Coefficients thermiques	167
2/ Détentes dans les gaz	169

b - AUTO-CONTRÔLE

1/ Mots clés/Phrases à trous	172
2/ Tests logiques	173

c - EXERCICES ET PROBLÈMES CORRIGÉS

1. COEFFICIENTS THERMIQUES

Première relation de Clapeyron		Détermination de C_{vm} d'un gaz réel	180
Application	175	Étude d'un fluide en variables (P, V)	181
Seconde relation de Clapeyron		Relations avec coefficients	
Application	177	thermoélastiques	183
Gaz de Van Der Waals, avec $C_{vm(T)}$	178	Isobare en diagramme entropique	
Gaz réel PV = RT (1 - a/P - b/P ²)	179	(E.N.S.A.M. 89)	184
		Gaz de photons (E.N.S. ST-CLOUD 85)	185

2. DÉTENTES DANS LES GAZ

Détente de Joule-Gay Lussac d'un gaz		Tuyère	193
de Van Der Waals (MINES DOUAI 86)	188	Trois procédés de refroidissement d'un gaz	
Détente de Joule-Gay Lussac dans un		par détente (E.N.S.I. MBB)	197
récipient non adiabatique	190		
Détente de Joule-Thomson (I.N.A. 90)	191		

5^e série : Potentiels thermodynamiques

a - ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ Énergie libre F – Enthalpie libre G – Systèmes gazeux	203
2/ Potentiels thermodynamiques généralisés.	
Systèmes monophasés quelconques	205
3/ Potentiel chimique	206

b - AUTO-CONTRÔLE

1/ Mots clés/Phrases à trous	209
2/ Tests logiques	210

c - EXERCICES ET PROBLÈMES CORRIGÉS

1. ÉNERGIE LIBRE – ENTHALPIE LIBRE – SYSTÈMES GAZEUX

Relation ΔG et travail utile – Relations		Énergie libre d'un fluide	215
de Maxwell (MINES D'ALÈS 89)	212	Détente de Joule-Gay Lussac : ΔG	216
Gaz de Clausius (ENSAIT ROUBAIX 83)	214		

2. SYSTÈMES MONOPHASÉS QUELCONQUES

Fil métallique (divariant)	217	Électrostriction (E.N.S. CACHAN 82)	228
Fil métallique en traction et torsion		Tension superficielle : forces capillaires	231
(E.I.T.P.E. 86)	219	Forces de surface – Loi de l'interface	
Désalantation adiabatique		sphérique de Laplace	
(T.R. STRASBOURG 89)	224	(MINES D'ALÈS 87)	234
Pile Isochore	226	Piézoélectricité	
		(E.N.S.I. CHIMIE ROUEN 83)	237

3. LE POTENTIEL CHIMIQUE

Potentiel chimique du gaz parfait (E.S.T.P. 87)	242	Préparation du diamant industriel (E.N.S.I. P 87)	247
Potentiel chimique du gaz réel - Fugacité (E.S.T.P. 87)	244	Cellule électrochimique (E.N.S.I. CHIMIE CENTRE 87)	248
Mélange idéal de gaz parfaits	246		

6^e série : Changements d'états du corps pur

a - ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ Diagramme d'équilibre - Chaleur latente	259
2/ L'équilibre liquide-vapeur	261
3/ Équilibres du solide cristallisé avec liquide ou vapeur	263

b - AUTO-CONTRÔLE

1/ Mots clés/Phrases à trous	265
2/ Tests logiques	266

c - EXERCICES ET PROBLÈMES CORRIGÉS

1. DIAGRAMMES D'ÉQUILIBRE - FORMULE DE CLAPEYRON

Diagramme P, T du naphthalène	269	Formule de Clapeyron - Loi de Rankine (E.N.S.I. CHIMIE CENTRE 90)	274
Surfusion du naphthalène	271	Loi de Duperray	276
Application différentielle des deux principes à un changement de phase	273	Mercure : compressibilité, vaporisation (E.N.S.I. M 89)	277

2. L'ÉQUILIBRE LIQUIDE-VAPEUR

2.1 PRESSION DE VAPEUR SATURANTE

Vaporisation sur une cuve à mercure	280	L'équilibre liquide-vapeur d'eau dans l'atmosphère terrestre (I.N.A. BIOCHIMIE 90)	284
Chambre de dessiccation (d'après VÉTO)	282		

2.2 ISOTHERMES D'ANDREWS

Coordonnées critiques - Équation réduite (MINES DOUAI 86)	289	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	292
		Tubes de Natterer - Courbe de Mathias	293

2.3 BILANS ÉNERGÉTIQUES OU ENTROPIQUES

Compression Isotherme d'un mélange liquide-vapeur (E.N.A.C. 90)	295	Titres massiques en vapeur (DEUG)	299
Bilan entropique d'une vaporisation réversible ou irréversible	297		

2.4 MACHINES THERMIQUES

Machine à vapeur (d'après I.N.A.)	303	Congélateur à 2 étages (MÉTÉO 83)	308
Machine frigorifique (d'après E.N.S.A.M.)	306		

3. ÉQUILIBRES DU SOLIDE CRISTALLISÉ AVEC LIQUIDE OU VAPEUR

Fusion du naphthalène	313	Vaporisation et cristallisation simultanées	315
Surfusion de l'eau : solidification isotherme ou adiabatique	314		

THERMODYNAMIQUE DE LA MATIÈRE (MICROSCOPIQUE)

7^e série : Approche microscopique des gaz

a - ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ Hypothèses	317
2/ Interprétation cinétique de P, T, U_m	318
3/ Facteur de Boltzmann	319
4/ Distribution de Maxwell-Boltzmann des vitesses, Théorème d'équipartition de l'énergie	320
5/ Modèle des sphères dures - Libre parcours moyen	322
6/ Interprétation statistique de l'entropie	322

b - AUTO-CONTRÔLE

1/ Mots clés/Phrases à trous	324
2/ Tests logiques	325

c - EXERCICES ET PROBLÈMES CORRIGÉS

1. INTERPRÉTATION MICROSCOPIQUE DE P, T, U_m

Quelques grandeurs moyennes	327	Fréquence de collision	330
Pression cinétique (choc élastique)	328	Théorème du viriel de Clausius	332

2. FACTEUR DE BOLTZMANN

DISTRIBUTION DE MAXWELL-BOLTZMANN

Moments magnétiques (E.N.S.I. CHIMIE NORD 83)	336	Distribution des vitesses	341
Expérience de Jean Perrin	339	Séparation isotopique (NAVALE 84)	346
		Effet thermoélectronique	353

3. PRINCIPE D'ÉQUIPARTITION DE L'ÉNERGIE

Énergie interne du gaz parfait diatomique	355	Énergie interne d'un solide (Loi de Dulong et Petit)	356
---	-----	---	-----

4. LIBRE PARCOURS MOYEN

Libre parcours moyen du gaz parfait	359	Aspect probabiliste - Cas d'un mélange de gaz parfaits (E.N.S. LYON C 90)	361
-------------------------------------	-----	--	-----

5. INTERPRÉTATION STATISTIQUE DE L'ENTROPIE

Détente de Joule-Gay Lussac	364	Microétats, macroétats	
Théorème de Gibbs - Entropie de mélange	365	Approche statistique	367

8^e série : Phénomènes de transfert

a - ABRÉGÉ DE COURS/FORMULAIRE

1/ Diffusion des particules - Loi de Fick. Cas de l'autodiffusion d'un gaz parfait	371
---	-----