

# Table des matières

<b>PHYSIQUE</b>	<b>1</b>
<b>1 Thermodynamique</b>	<b>3</b>
1.1 Rappels de cours . . . . .	3
1.1.1 Aspect microscopique et macroscopique d'un système . . . . .	3
1.1.2 L'énergie interne et le premier principe . . . . .	4
1.1.3 L'entropie et le second principe . . . . .	6
1.1.4 Conséquences du second principe . . . . .	9
1.1.5 Les gaz parfaits . . . . .	11
1.1.6 Changements d'état d'un corps pur . . . . .	13
1.1.7 Notions sur les phénomènes de transport : diffusion moléculaire et transfert thermique . . . . .	15
1.2 Exercices . . . . .	18
1.2.1 Autour de l'inégalité de Carnot-Clausius . . . . .	18
1.2.2 Machine frigorifique tritherme . . . . .	19
1.2.3 Loi de Laplace . . . . .	21
1.2.4 Vers les très basses températures... . . . .	22
1.2.5 Ébullition de l'eau en altitude . . . . .	24
1.2.6 Surfusion de l'eau . . . . .	27
1.2.7 Formes différentielles totales . . . . .	28
1.3 Problèmes . . . . .	29
1.3.1 Étude d'un lac gelé en formation . . . . .	29
1.3.2 La machine de Stirling . . . . .	36
1.3.3 Bilans entropiques pour des transformations isothermes ; principe du thermocouple . . . . .	47
<b>2 Électrostatique et Magnétostatique</b>	<b>67</b>
2.1 Électrostatique : rappels de cours . . . . .	67
2.1.1 Notions de symétrie. . . . .	67
2.1.2 Lois générales. . . . .	68
2.1.3 Dipôle électrostatique. . . . .	70
2.1.4 Conducteurs à l'équilibre électrostatique. . . . .	71
2.1.5 Condensateurs. . . . .	72
2.1.6 Énergie et force électrostatique. . . . .	73
2.2 Magnétostatique : rappels de cours . . . . .	75
2.2.1 Propriétés de symétrie. . . . .	75

2.2.2	Lois générales. . . . .	76
2.2.3	Dipôle magnétique. . . . .	78
2.2.4	Actions mécaniques d'un champ magnétique. . . . .	79
2.2.5	Travail de la force de Laplace. . . . .	80
2.3	Exercices . . . . .	83
2.3.1	Et si le champ électrique... . . . .	83
2.3.2	Pouvoir des pointes . . . . .	84
2.3.3	Le potentiel de Yukawa . . . . .	86
2.3.4	Étude d'un condensateur cylindrique . . . . .	89
2.3.5	Images électriques et interaction dipôle-conducteur . . . . .	93
2.3.6	Champ magnétique créé par un cylindre conducteur . . . . .	98
2.3.7	Sphère chargée en rotation . . . . .	100
2.4	Problèmes . . . . .	102
2.4.1	Électrostatique d'un cylindre conducteur ; spires et dipôles magnétiques. . . . .	102
2.4.2	Champ magnétique permanent créé par une spire circulaire ; étude d'un câble coaxial ; dilatation des durées en relativité restreinte . . . . .	115
<b>3</b>	<b>Électromagnétisme et Optique</b>	<b>131</b>
3.1	Généralités sur les ondes . . . . .	131
3.1.1	L'équation d'onde . . . . .	131
3.1.2	Les différents types d'ondes . . . . .	131
3.1.3	Remarques sur la notation complexe . . . . .	136
3.1.4	Propagation avec dispersion . . . . .	136
3.2	Électromagnétisme : rappels de cours . . . . .	137
3.2.1	Introduction . . . . .	137
3.2.2	Ondes électromagnétiques dans le vide . . . . .	137
3.2.3	Polarisation . . . . .	139
3.2.4	Énergie électromagnétique . . . . .	141
3.2.5	Réflexion d'une onde électromagnétique sous incidence normale sur un conducteur parfait . . . . .	142
3.2.6	Électromagnétisme dans les milieux linéaires homogènes et isotropes . . . . .	144
3.3	Optique ondulatoire : rappels de cours . . . . .	148
3.3.1	Introduction . . . . .	148
3.3.2	Les phénomènes d'interférence . . . . .	149
3.3.3	La diffraction . . . . .	154
3.4	Exercices . . . . .	157
3.4.1	Vecteur de Poynting et densité d'énergie électromagnétique	157
3.4.2	Le bleu du ciel... . . . .	160
3.4.3	Électromagnétisme et changement de référentiel . . . . .	161
3.4.4	Utilisation des polariseurs en photographie. . . . .	162
3.4.5	Application du critère de Rayleigh au pouvoir séparateur d'une lunette astronomique . . . . .	164
3.5	Problèmes . . . . .	166
3.5.1	Propagation guidée ; cavité . . . . .	166

3.5.2	Introduction à l'effet de peau ; diffraction par un réseau	172
3.5.3	La supraconductivité . . . . .	185
3.5.4	Réflexion d'une onde électromagnétique sur un plasma .	194
3.5.5	Effet Faraday dans un plasma . . . . .	202
3.5.6	Ondes dans un milieu ionisé ; expérience de Fizeau. . . .	211
3.5.7	Étude de quelques phénomènes liés aux interférences en optique. . . . .	226
<b>4</b>	<b>Induction</b>	<b>235</b>
4.1	Rappels de cours . . . . .	235
4.1.1	Les lois de l'induction . . . . .	235
4.1.2	Champ électromoteur et force électromotrice d'induction	236
4.1.3	Lien avec l'électrocinétique . . . . .	237
4.1.4	Auto et mutuelle induction. . . . .	238
4.1.5	Aspect énergétique . . . . .	239
4.2	Exercices . . . . .	240
4.2.1	Barre mobile sur un cadre . . . . .	240
4.2.2	Four à induction . . . . .	245
4.2.3	Freinage par courants de Foucault. . . . .	248
4.2.4	Une modélisation du diamagnétisme des atomes. . . . .	249
4.2.5	Disque métallique dans un champ magnétique . . . . .	253
4.3	Problèmes . . . . .	256
4.3.1	Générateur dynamo . . . . .	256
4.3.2	Moment magnétique dans un solénoïde et cadre métalli- que en rotation . . . . .	259
<b>5</b>	<b>Mécanique des fluides</b>	<b>273</b>
5.1	Rappels de cours . . . . .	273
5.1.1	Description de l'état fluide . . . . .	273
5.1.2	Statique des fluides . . . . .	274
5.1.3	Cinématique des fluides . . . . .	276
5.1.4	Dynamique des fluides parfaits . . . . .	279
5.2	Exercices . . . . .	280
5.2.1	Il était un petit navire... . . . .	280
5.2.2	En voiture... . . . .	281
5.2.3	Différence entre ligne de courant et trajectoire . . . . .	281
5.2.4	Quand le théorème d'Archimède ne s'applique plus... . .	283
5.2.5	L'arrosage du jardin. . . . .	286
5.3	Problèmes . . . . .	293
5.3.1	Clepsydre et stabilité d'un navire. . . . .	293
5.3.2	Ondes acoustiques dans un gaz . . . . .	303
5.3.3	Étude d'une persienne . . . . .	312
<b>6</b>	<b>Mécanique du solide</b>	<b>313</b>
6.1	Rappels de cours . . . . .	313
6.1.1	Cinématique du solide. . . . .	313
6.1.2	Cinétique du solide. . . . .	316
6.1.3	Actions agissant sur un solide. . . . .	319

6.1.4	Dynamique du solide. . . . .	321
6.1.5	Énergie cinétique, travail des actions mécaniques. . . . .	323
6.2	Exercices . . . . .	325
6.2.1	Pendule pesant . . . . .	325
6.2.2	Propulsion par frottement... . . . .	327
6.2.3	Si j'avais un cerceau... . . . .	328
6.2.4	Propagation d'ondes dans une chaîne de ressorts . . . . .	335
6.2.5	Résistance d'un pilier en compression . . . . .	340
6.3	Problèmes . . . . .	343
6.3.1	Sphère creuse sur un plan incliné . . . . .	343
6.3.2	Introduction à l'effet gyroscopique . . . . .	351
6.3.3	Mouvement d'une planche posée sur deux rouleaux ; étude d'une persienne en mécanique des fluides . . . . .	358
<b>7</b>	<b>Relativité restreinte et Mécanique quantique</b>	<b>379</b>
7.1	Rappels de cours de mécanique quantique . . . . .	379
7.1.1	Naissance de la mécanique quantique. . . . .	379
7.1.2	Formulation de la mécanique quantique. . . . .	380
7.1.3	Potentiels indépendants du temps. . . . .	382
7.2	Rappels de cours de relativité restreinte . . . . .	384
7.2.1	Émergence de la relativité restreinte. . . . .	384
7.2.2	Cinématique relativiste. . . . .	385
7.2.3	Dynamique relativiste. . . . .	387
7.3	Exercices de mécanique quantique . . . . .	388
7.3.1	États quasi-classiques de l'oscillateur harmonique . . . . .	388
7.3.2	Réflexion quantique et effet tunnel . . . . .	393
7.3.3	Effet photoélectrique . . . . .	398
7.3.4	Puits de potentiel constant . . . . .	400
7.4	Exercices de relativité restreinte . . . . .	406
7.4.1	Contraction des longueurs en relativité restreinte . . . . .	406
7.4.2	Mesure de longueur en relativité . . . . .	409
7.4.3	Dilatation du temps propre en relativité restreinte . . . . .	414
7.4.4	Désintégration d'un méson $B$ . . . . .	417
7.4.5	Collision de particules relativistes . . . . .	420
7.4.6	Aberration de la lumière . . . . .	425
7.5	Problèmes . . . . .	428
7.5.1	Oscillateur harmonique à deux dimensions . . . . .	428
7.5.2	Attention à la marche (de potentiel)! . . . . .	435
	<b>CHIMIE</b>	<b>443</b>
<b>8</b>	<b>Chimie Minérale</b>	<b>445</b>
8.1	Rappels de cours de thermochimie . . . . .	445
8.1.1	Introduction . . . . .	445
8.1.2	Le potentiel chimique . . . . .	446
8.1.3	Grandeurs thermodynamiques d'une réaction chimique . . . . .	449

8.1.4	Lien avec la constante d'équilibre d'une réaction . . . . .	452
8.1.5	Déplacement des équilibres chimiques . . . . .	453
8.2	Rappels de cours de solutions aqueuses . . . . .	453
8.2.1	La nature du solvant : l'eau . . . . .	453
8.2.2	Couples (acide/base) . . . . .	454
8.2.3	Les réactions de complexation . . . . .	457
8.2.4	Les réactions de précipitation . . . . .	457
8.2.5	Les réactions d'oxydo-réduction . . . . .	458
8.3	Rappels de cours de cristallographie . . . . .	465
8.3.1	Généralités . . . . .	465
8.3.2	Les différents types de cristaux . . . . .	466
8.4	Exercices . . . . .	469
8.4.1	Cycle de Born-Haber du chlorure de potassium . . . . .	469
8.4.2	Géométrie des molécules $\text{BF}_3$ et $\text{PF}_3$ . . . . .	471
8.4.3	Configuration électronique des atomes de bore et d'oxygène . . . . .	472
8.4.4	État d'équilibre d'une solution aqueuse . . . . .	474
8.5	Problèmes . . . . .	476
8.5.1	Diagramme E-pH de l'argent ; étude de la réaction entre les ions argent et les ions étain II : aspect cinétique et évolution en fonction du pH ; cristallographie du carbone . . . . .	476
8.5.2	Étude du cristal d'iodure de lithium ; préparation du dihydrogène . . . . .	486
8.5.3	Le sulfite d'argent en solution aqueuse ; dosage de l'acide sulfureux par la soude. . . . .	492
8.5.4	Équilibre de dissociation de l'eau ; diagramme potentiel-pH du chlore . . . . .	500
<b>9</b>	<b>Chimie Organique</b> . . . . .	<b>501</b>
9.1	Rappels de cours . . . . .	501
9.1.1	Généralités . . . . .	501
9.1.2	Les alcools . . . . .	504
9.1.3	Les organomagnésiens . . . . .	505
9.1.4	Les alcènes . . . . .	506
9.1.5	Les alcynes . . . . .	507
9.1.6	Les amines aliphatiques . . . . .	508
9.1.7	Les composés aromatiques . . . . .	510
9.1.8	Les aldéhydes et les cétones . . . . .	512
9.1.9	Les acides carboxyliques et leurs dérivés . . . . .	514
9.2	Exercices . . . . .	515
9.2.1	Nombre d'insaturations d'une molécule et isomères de constitution . . . . .	515
9.2.2	Protocole expérimental d'une synthèse organique . . . . .	517
9.3	Problèmes . . . . .	520
9.3.1	Stéréochimie ; effets inductifs et mésomères : lien avec la réactivité . . . . .	520
9.3.2	Synthèses organiques ; équilibre de dissociation de l'eau ; diagramme potentiel-pH du chlore. . . . .	529

9.3.3 Synthèse de la spectraline . . . . .	542
<b>10 Formulaire Mathématique</b>	<b>551</b>
10.1 Les différents systèmes de coordonnées . . . . .	551
10.1.1 Coordonnées cartésiennes . . . . .	551
10.1.2 Coordonnées cylindriques . . . . .	552
10.1.3 Coordonnées sphériques . . . . .	552
10.2 Analyse vectorielle . . . . .	553
10.2.1 Les opérateurs vectoriels . . . . .	553
10.2.2 Relations entre opérateurs vectoriels . . . . .	553
10.2.3 Relations intégrales . . . . .	554
10.3 Quelques développements limités . . . . .	555
10.4 Fonctions de plusieurs variables . . . . .	556
10.5 Notions sur les torseurs . . . . .	557
10.5.1 Définition . . . . .	557
10.5.2 Condition d'égalité . . . . .	557
<b>Index</b>	<b>558</b>