

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	5
MECANIQUE	7
CHAPITRE 1 Le solide en Mécanique	9
1 DEFINITIONS – PROPRIETES	9
1.1 Corps solide	9
1.2 Solide parfait	9
1.3 Répartition de matière	9
1.4 Forces	10
1.4.1 Forces intérieures de cohésion	10
1.4.2 Forces à distance	11
1.4.3 Forces de contact	11
2 GRANDEURS MECANIQUES	11
2.1 Grandeurs cinématiques	11
2.2 Grandeurs cinétiques	12
3 LE PROBLEME GENERAL	13
CHAPITRE 2 Cinématique et cinétique du solide parfait	15
1 MOUVEMENT D'UN SOLIDE	15
1.1 Champ de vitesse dans un solide – vecteur rotation	15
1.2 Vitesse du centre d'inertie	16
1.3 Mouvement de translation	16
1.4 Mouvement de rotation - angles d'Euler	16
1.5 Rotation autour d'un axe fixe	18
1.6 Rotation autour d'un axe de direction fixe	18
2 SOLIDES EN CONTACT	18
2.1 Vitesse de glissement	18
2.2 Roulement et pivotement	20
2.3 Contact non ponctuel	20
3 REPARTITION DES MASSES	21
3.1 Centre d'inertie	21

3.2 Moments d'inertie	23
3.3 Produits d'inertie	24
3.4 Théorème de Huygens	24
3.5 Matrice d'inertie	25
3.5.1 Définition	25
3.5.2 Axes principaux d'inertie	26
4 ELEMENTS CINETIQUES	28
4.1. Quantité de mouvement	28
4.2 Moment cinétique	29
4.3 Energie cinétique	30
Exercices du chapitre 2	31
Exercice 1 : Eléments cinétique d'un ensemble de roues	31
Exercice 2 : Roulement sans glissement d'un disque	34
Exercice 3 : Roulement sans glissement d'un cône	37
CHAPITRE 3 Dynamique du solide parfait	41
1 CONTACT ENTRE SOLIDES	41
1.1 Introduction	41
1.2 Lois du frottement	41
1.2.1 Réaction	41
1.2.2 Enoncé	42
1.2.3 Cas du contact non ponctuel	42
1.2.4. Interprétation et exploitation	43
1.3 Modèle simplifié du glissement	45
1.4 Caractère non conservatif	45
2 THEOREMES GENERAUX	46
2.1 Principe fondamental	46
2.2 Théorèmes énergétiques	46
2.3 Puissance des forces intérieures à un solide	47
2.4 Puissance de la réaction	47
2.5 Puissance des réactions mutuelles	48
2.6 Expression générale de la puissance	49
3 ROTATION AUTOUR D'UN AXE FIXE	49
3.1 Equation du mouvement	49
3.2 Liaison parfaite	50
4 ETUDE DYNAMIQUE	53
4.1 Réduction du problème	53
4.2 Roulement sans glissement	54
4.3 Roulement avec glissement	54
Exercices du chapitre 3	55

Exercice 1 : Frottement de glissement sur un plan incliné	55
Exercice 2 : Cas statique - influence du nombre de solides	58
Exercice 3 : Empilement de cylindres	60
Exercice 4 : Cylindre roulant sur un plan incliné	63
Exercice 5 : Pendule de torsion	67
Exercice 6 : Déroulement	70
Exercice 7 : Machine d'Atwood	73
Exercice 8 : Boule de bowling	75
Exercice 9 : Equilibre dynamique	79
Exercice 10 : Roue entraînée par un mobile	83
PROBLEMES	87
Problème 1 : Archet frottant sur une corde	87
Problème 2 : Roulement sur un cerceau	94
Problème 3 : Glissement d'une tige dans un dièdre	102
Problème 4 : Chute d'une tige	111
Problème 5 : Décollement d'une roue sur un cylindre	118
Problème 6 : Performances d'une automobile	124
MECANIQUE DES FLUIDES	133
CHAPITRE I Introduction à la Mécanique des fluides	135
I MILIEU CONTINU	135
1.1 Définition	135
1.2 Milieu fluide	136
1.3 Liquides et gaz	137
1.4 Forces internes	138
1.4.1 Contrainte - pression	138
1.4.2 Viscosité	139
1.4.3 Forces volumiques	140
2 CARACTERISTIQUES D'UN ECOULEMENT	140
2.1 Grandeurs locales – champs	140
2.2. Description lagrangienne	141
2.3 Description eulérienne	141
2.4 Relation entre dérivées lagrangienne et eulérienne	142
2.5 Lignes de courant	144
2.6 Tube de champ	145
2.7 Profil de vitesse et profil thermique	145
3 DESCRIPTION EXPERIMENTALE D'UN ECOULEMENT	146
3.1 Expérience de Reynolds	146

3.2 Variations temporelles	147
3.3 Loi de perte de charge	147
3.4 Expérience de Prandtl	148
3.5 Généralisation	149
CHAPITRE 2 Equations générales	151
I EQUATIONS FONDAMENTALES	151
1.1 Introduction	151
1.2 Equation de continuité	151
1.3 Equation du mouvement	153
1.3.1 Expression générale	153
1.3.2 Contrainte de viscosité	154
1.3.3 Expression volumique de la force de viscosité	154
1.3.4 Accélération	155
1.3.5 Equation de Navier-Stokes	156
1.4 Equation d'état	156
1.5 Equation thermodynamique	157
1.6 Cas particuliers	158
1.6.1 Fluide incompressible	158
1.6.2 Fluide parfait	158
1.6.3 Ecoulement potentiel	158
1.6.4 Ecoulement stationnaire	158
2 BILANS DANS UN SYSTEME OUVERT	159
2.1 Système ouvert	159
2.2 Forme macroscopique d'une équation-bilan	159
2.3 Forme locale d'une équation-bilan	161
2.4 Dérivée particulaire	161
2.5 Utilisation des lois de la Mécanique	162
2.6 Débit d'une grandeur extensive	164
2.6.1 Définition	164
2.6.2 Principaux débits	164
2.6.3 Application à un tube de courant	165
CHAPITRE 3 Fluide parfait	167
I CARACTERISTIQUES GENERALES	167
1.1 Définition	167
1.2 Evolution isentropique	167
1.3 Equation d'Euler	167
2 THEOREMES DYNAMIQUES	168
2.1 Théorème de Bernoulli	168
2.2 Théorème de Thomson	172
2.3 Effet Venturi	173
3 ECOULEMENT POTENTIEL	174

3.1 Equation de Laplace	174
3.2 Champ de pression	174
3.3 Paradoxe de d'Alembert	177
3.3.1 Déviation de l'écoulement	177
3.3.2 Force exercée sur l'obstacle	178
Exercices du chapitre 3	181
Exercice 1 : Ecoulement dans un dièdre	181
Exercice 2 : Masse apparente d'un obstacle	185
Exercice 3 : Calcul de portance	188
Exercice 4 : Durée de vidange d'un réservoir	191
Exercice 5 : Effet Magnus	194
Exercice 6 : Traînée d'une demi-sphère	198
Exercice 7 : Ecoulement confiné	203
Exercice 8 : Validité de la formule de Torricelli	208
Exercice 9 : Tourniquet	211
Exercice 10 : Déplacement d'une plaque	216
CHAPITRE 4 Notions de base sur les fluides newtoniens	221
I GENERALITES	221
1.1 Définition	221
1.2 Equations de l'écoulement	221
1.3 Nombre de Reynolds	222
1.3.1 Définition mathématique	222
1.3.2 Définition physique	223
2 SOLUTIONS EXACTES	224
2.1 Situation asymptotique	224
2.2 Ecoulement de Poiseuille	225
2.3 Ecoulement entre deux plaques planes	227
2.4 Ecoulement entre deux cylindres coaxiaux	229
3 SOLUTIONS APPROCHEES	230
3.1 Formule de Stokes	231
3.2 Couche limite laminaire	234
4 LOI DE PERTE DE CHARGE	237
4.1 Introduction	237
4.2 Définition	237
4.3 Loi de perte de charge pour la sphère	238
4.4 Loi de perte de charge pour la conduite circulaire	238
4.5 Loi de perte de charge entre deux plaques planes	239
4.6 Loi de perte de charge pour la couche limite	239
4.7 Ecoulement autour d'un corps quelconque	240
4.7.1 Ecoulement à distance	240

4.7.2 Couche limite	240
4.7.3 Sillage	242
4.7.4 Portance et traînée	242
5 TURBULENCE	243
5.1 Cause de la turbulence	243
5.2 Lois de perte de charge	244
Exercices du chapitre 4	245
Exercice 1 : Ecoulement cisaillé	245
Exercice 2 : Ondes transversales dans un fluide	249
Exercice 3 : Résistance mécanique d'un réseau de conduites	253
Exercice 4 : Ecoulement dans le champ de pesanteur	256
Exercice 5 : Perte de charge dans une conduite elliptique	259
PROBLEMES	265
Problème 1 : Ecoulement d'un liquide dans un canal	265
Problème 2 : Oscillations de fluide entre deux bassins	272
Problème 3 : Jet plan émis par une fente	278
Problème 4 : Sustentation d'une plaque	287
Problème 5 : Ecoulement d'un film mince sur un plan incliné	294
Problème 6 : Navigation à voile	301
ELECTROMAGNETISME	309
CHAPITRE I Equations de Maxwell	311
I EQUATIONS LOCALES	311
1.1 Densités de charges et de courants	311
1.2 Notions de champ électromagnétique	311
1.3 Equation de continuité	312
1.4 Equations locales du champ électrostatique	313
1.5 Equations locales du champ magnétostatique	314
1.6 Loi de Faraday	315
2 EQUATIONS DE MAXWELL	317
2.1 Généralisation des équations locales de la statique	317
2.2 Equations de Maxwell	319
2.3 Expression générale du champ électromagnétique	321
2.4 Relations de continuité	322
2.4.1 Champ électrique	323
2.4.2. Champ magnétique	324
3 ENERGIE ELECTROMAGNETIQUE	326

3.1 Force de Lorentz - loi de Joule	326
3.2 Notion d'énergie électromagnétique	327
3.3 Grandeurs énergétiques locales	328
3.3.1 Définitions	328
3.3.2 Equation de continuité	329
3.3.3 Expressions de w et $\vec{\Pi}$	330
4 RETOUR SUR LA STATIQUE	331
4.1 Electrostatique	331
4.1.1 Equation de Poisson	331
4.1.2 Energie électrostatique	333
4.2 Magnétostatique	335
4.2.1 Equivalent magnétique de l'équation de Poisson	335
4.2.2 Energie magnétostatique	335
5 APPROXIMATION DES REGIMES QUASI-STATIONNAIRES	335
Exercices du chapitre 1	339
Exercice 1 : Câble coaxial	339
Exercice 2 : Condensateur à symétrie cylindrique	344
Exercice 3 : Migration des charges dans un conducteur	347
Exercice 4 : Solénoïde en régime variable	351
Exercice 5 : Développement en série du champ magnétique	354
Exercice 6 : Energie électrostatique d'un système de charges	359
CHAPITRE 2 Induction	363
1 INTRODUCTION	363
2 FORCE ELECTROMOTRICE D'INDUCTION	363
2.1 Transformation du champ entre référentiels galiléens	363
2.2 Généralisation de la loi d'Ohm	364
2.3 Champ électromoteur	365
2.4 Force électromotrice d'induction	365
2.5 Courant induit	366
2.6 Loi de Faraday	367
2.6.1 Circuit fixe dans un champ variable	367
2.6.2 Circuit mobile dans un champ constant	367
2.6.3 Enoncé général	368
3 INDUCTION DE NEUMANN	370
3.1 Inductances	370
3.1.1 Inductance mutuelle de deux circuits	370
3.1.2 Inductance propre d'un circuit	371
3.1.3 Généralisation	371
3.2 Loi de Lenz	372
3.3 Dipôle inductance	372
3.4 Auto-induction	373

3.5 Energie magnétique d'un ensemble de circuits	374
3.5.1 Circuit unique	374
3.5.2 Cas de deux circuits	375
3.5.3 Cas de n circuits	376
4 INDUCTION DE LORENTZ	376
4.1 Action mécanique	376
4.2 Aspect énergétique	378
4.3 Transducteurs électromécaniques	379
4.3.1 Définition	379
4.3.2 Exemple : haut-parleur électrodynamique	380
Exercices du chapitre 2	383
Exercice 1 : Stabilité dans un champ magnétique	383
Exercice 2 : Principe du moteur synchrone	388
Exercice 3 : Freinage par induction	393
Exercice 4 : Capacité et inductance propre d'un câble coaxial	397
Exercice 5 : Tige en rotation dans un champ magnétique	400
Exercice 6 : Moteur à induction	404
Exercice 7 : Roue de Barlow	407
Exercice 8 : Embrayage électromagnétique	410
PROBLEMES	413
Problème 1 : Champ électromagnétique dans un condensateur plan cylindrique	413
Problème 2 : Inversions du champ magnétique terrestre	424
Problème 3 : Roue de Barlow motrice	431
Problème 4 : Haut-parleur électrodynamique	437
Problème 5 : Etude d'un moteur à induction	446
PHYSIQUE DES ONDES	457
CHAPITRE I Introduction à la Physique des ondes	459
I QUELQUES EXEMPLES	459
1.1 Vibrations longitudinales dans un cristal	459
1.2 Corde vibrante	462
1.3 Membrane vibrante	464
1.4 Equation de d'Alembert	465
2 ONDE PLANE	466
2.1 Etude de l'équation à une dimension	466
2.1.1 Onde progressive	466
2.1.2 Vitesse de phase	467
2.1.3 Vecteur d'onde	467

2.1.4 Surfaces d'onde	468
2.1.5 Onde réfléchie	468
2.2. Expression générale de l'onde plane	469
2.3 Polarisation d'une onde vectorielle	470
2.4 Onde sinusoïdale	470
2.4.1 Définitions	470
2.4.2 Notation complexe	471
2.4.3 Intérêt théorique	472
3 PROPAGATION D'UN TRAIN D'ONDES	473
3.1 Définition	473
3.2 Dispersion	475
3.2.1 Relation de dispersion	475
3.2.2 Dispersion d'un paquet d'ondes	475
3.2.3 Obtention de la relation de dispersion	476
3.3 Train d'onde et vitesse de groupe	477
3.4 Propagation de l'énergie	478
3.5 Absorption	480
4 AUTRES SOLUTIONS DE L'EQUATION DE D'ALEMBERT	481
4.1 Onde sphérique	481
4.1.1 Définition – propriétés	481
4.1.2 Relation avec l'onde plane	482
4.2 Onde sinusoïdale non plane	483
4.3 Onde stationnaire	483
Exercices du chapitre 1	487
Exercice 1 : Onde progressive sur une chaîne de pendules	487
Exercice 2 : Transport d'énergie le long d'une chaîne de pendules	491
Exercice 3 : Transmission d'une onde transversale entre cordes	497
Exercice 4 : Réflexion d'une onde mécanique sur une masse	501
CHAPITRE 2 Ondes sonores dans les fluides	507
I INTRODUCTION	507
2 APROXIMATION ACOUSTIQUE	507
2.1 Petites perturbations adiabatiques	507
2.2 Equations du fluide	508
2.3 Equations de propagation	509
3 ONDE SONORE PLANE SINUSOIDALE	511
3.1 Relation de dispersion - vitesse du son	511
3.2 Impédance acoustique	512
4 TRANSPORT D'ENERGIE	514
4.1 Définitions	514
4.2 Equation de continuité	515

4.3 Application à l'onde plane progressive sinusoïdale	517
4.4 Application à l'onde stationnaire	518
4.5 Éléments d'acoustique	519
4.5.1 Intensité objective	519
4.5.2 Intensité subjective	520
4.5.3 Domaine spectral	521
4.6 Absorption et dispersion	521
4.7 Atténuation avec l'éloignement	522
5 REFLEXION ET TRANSMISSION SUR UNE SURFACE PLANE	522
5.1 Ondes réfléchies et transmises en incidence normale	522
5.2 Coefficients énergétiques	524
Exercices du chapitre 2	525
Exercice 1 : Effet de paroi - filtrage acoustique	525
Exercice 2 : Amortissement par émission sonore	529
Exercice 3 : Atténuation d'un bruit par effet de paroi	533
Exercice 4 : Division d'une onde sonore	538
Exercice 5 : Gammes musicales	541
Exercice 6 : Relation de dispersion dans un fluide visqueux	546
Exercice 7 : Réflexion et transmission en incidence oblique	551
CHAPITRE 3 Ondes électromagnétiques dans le vide	557
1 EQUATIONS DE PROPAGATION	557
1.1 Equations de Maxwell dans le vide	557
1.2 Equations des potentiels - jauge de Lorentz	558
1.3 Vitesse de la lumière dans le vide	560
1.4 La propagation : propriété intrinsèque	561
2 ONDE PLANE SINUSOÏDALE	562
2.1 Structure	562
2.2 Polarisation	564
2.2.1 Polarisation elliptique	564
2.2.2 Polarisation circulaire	566
2.2.3 Polarisation rectiligne	566
2.2.4 Emission naturelle	567
2.3 Spectre électromagnétique	568
3 TRANSPORT D'ENERGIE	570
3.1 Equation de continuité	570
3.2 Application à l'onde plane progressive sinusoïdale	570
4 RAYONNEMENT DIPOLAIRE	572
4.1 Introduction et hypothèses	572
4.2 Potentiels	573
4.3 Champ magnétique	574

4.4 Champ électrique	575
4.5 Structure	576
4.6 Rayonnement	578
4.6.1 Vecteur de Poynting	578
4.6.2 Diagramme de rayonnement	578
4.6.3 Puissance rayonnée	578
5 DIFFUSION RAYLEIGH	581
5.1 Modèle de l'électron élastiquement lié	581
5.1.1 Mouvement d'un électron	581
5.1.2 Emission électronique	583
5.1.3 Force radiative	585
5.2 Diffusion de l'onde incidente	586
5.2.1 Polarisation rectiligne	586
5.2.2 Polarisation circulaire	586
5.2.3 Diffusion dans le visible	587
5.2.4 Diffusion atmosphérique	588
Exercices du chapitre 3	589
Exercice 1 : Onde stationnaire	589
Exercice 2 : Solutions de l'équation de d'Alembert à dépendance sinusoïdale	591
Exercice 3 : Limite supérieure de la masse du photon	594
Exercice 4 : Transport d'énergie par une onde non plane	598
Exercice 5 : Combinaisons des éclaircissements des ondes plane	603
Exercice 6 : Rayonnement d'une antenne	607
CHAPITRE 4 Ondes électromagnétiques dans la matière	613
I PROPRIETES ELECTROMAGNETIQUES DE LA MATIERE	613
1.1 Equations de Maxwell reliant le champ aux sources	613
1.2 Equations de Maxwell dites « dans la matière »	614
1.3 Polarisation	615
1.3.1 Définition	615
1.3.2 Charges de polarisation	616
1.3.3 Courants de polarisation	617
1.4 Aimantation	617
1.4.1 Définition	617
1.4.2 Courants d'aimantation	618
1.5 Expressions des vecteurs \vec{D} et \vec{H}	618
1.6 Milieux linéaires homogènes et isotropes	619
1.6.1 Susceptibilités	619
1.6.2 Permittivité diélectrique et perméabilité magnétique	619
1.7 Equations dans les différents milieux	620
1.7.1 Diélectriques	620
1.7.2 Conducteurs	620
2 ONDES ET CONDUCTEURS	621
2.1 Equation de propagation	622

2.2 Onde plane sinusoïdale	622
2.2.1 Relation de dispersion	622
2.2.2 Dissipation de l'énergie	623
2.2.3 Effet de peau	623
2.2.4 Vitesses de propagation	624
2.2.5 Structure de l'onde	624
2.3 Réflexion en incidence normale	626
2.3.1 Ondes réfléchies et transmises	626
2.3.2 Conducteur parfait	627
2.3.3 Onde stationnaire - modes propres	629
3 ONDES ET DIELECTRIQUES	630
3.1 Equations de propagation	630
3.2 Permittivité relative dans le modèle élastiquement lié	631
3.3 Onde plane sinusoïdale	633
3.3.1 Relation de dispersion - indice de réfraction	633
3.3.2 Vitesse de propagation	637
3.3.3 Structure de l'onde	638
3.4 Transport d'énergie	638
3.4.1 Equation de continuité	638
3.4.2 Application à l'onde plane progressive sinusoïdale	640
3.5 Réflexion et transmission en incidence normale	641
3.5.1 Ondes réfléchies et transmises	641
3.5.2 Coefficients énergétiques de réflexion et de transmission	642
3.6 Lois de Descartes	643
3.6.1 Démonstration	643
3.6.2 Pouvoir réfringent dans le visible	644
3.6.3 Pouvoir dispersif	645
3.6.4 Incidence limite	645
3.6.5 Dioptre non plan	645
3.7 Notions de base sur les milieux anisotropes	646
3.7.1 Propriétés générales	646
3.7.2 Milieux uniaxes	647
3.7.3 Force de Laplace	649
3.7.4 Milieux dichroïques	650
Exercices du chapitre 4	651
Exercice 1 : Vitesse de groupe dans un conducteur	651
Exercice 2 : Absorption dans un conducteur	656
Exercice 3 : Réflexion vitreuse	660
Exercice 4 : Incidence de Brewster	664
Exercice 5 : Propagation dans un plasma	667
Exercice 6 : Filtrage électromagnétique	673
Exercice 7 : Polarisation rotatoire	677
Exercice 8 : Opacité dans l'ultraviolet du modèle de Thomson	683
Exercice 9 : Couche antireflet	688
PROBLEMES	693

Problème 1 : Spectre d'ondes stationnaires sur une corde	693
Problème 2 : Ondes dans les solides	701
Problème 3 : Ondelettes sur une surface liquide	709
Problème 4 : Ecoute d'un haut-parleur dans un local	717
Problème 5 : Coups de bélier dans une conduite	724
Problème 6 : Couplage par onde sonore	731
Problème 7 : Instruments de musique à vent	742
Problème 8 : Propagation entre deux plans conducteurs	748
Problème 9 : Relation de dispersion dans un champ magnétique	755
Problème 10 : Propagation dans une ligne coaxiale	763
OPTIQUE PHYSIQUE	
	771
CHAPITRE I Généralités	773
I L'ONDE LUMINEUSE	773
1.1 Equation d'onde	773
1.2 Les différentes formes d'onde	773
1.2.1 Onde monochromatique	773
1.2.2 Onde quasi-monochromatique	775
1.2.3 Onde plane	777
1.2.4 Onde quasi-plane	777
2 OPTIQUE GEOMETRIQUE	779
2.1 Principe de Huygens	779
2.2 Principe de Fermat	780
2.2.1 Chemin optique	780
2.2.2 Enoncé du principe	780
2.2.3 Retour inverse de la lumière	781
2.2.4 Chemin optique et évolution de la phase	782
2.2.5 Stigmatisme	782
3 RECEPTEURS DE LUMIERE	782
3.1 Propagation de l'énergie	782
3.2 Eclairage	783
3.3 Photométrie et grandeurs mesurables	784
CHAPITRE 2 Interférences à deux ondes	785
I INTRODUCTION	785
2 SUPERPOSITION DE DEUX ONDES MONOCHROMATIQUES ISO-CHRONES	785
2.1 Nécessité d'isochronicité	785
2.2 Cas général	786
2.3 Ondes planes de polarisation rectiligne	788

2.4 Ondes sphériques de polarisation rectiligne	791
2.4.1 Franges rectilignes	792
2.4.2 Franges annulaires	793
3 NOTIONS DE COHERENCE DES SOURCES	794
3.1 Cohérence temporelle	794
3.1.1 Nécessité d'une source unique	794
3.1.2 Longueur de cohérence	796
3.1.3 Nouvelle expression de l'éclairement	797
3.2 Cohérence spatiale et largeur de cohérence	798
4 METHODES DE DEDOUBLEMENT	799
4.1 Division du front d'onde	799
4.2 Division d'amplitude	799
Exercices du chapitre 2	801
Exercice 1 : Chemin optique et déphasage	801
Exercice 2 : Interférences de deux ondes planes monochromatiques	803
Exercice 3 : Interférences de deux ondes sphériques	806
CHAPITRE 3 Interférences par division du front d'onde	809
I LES TROUS DE YOUNG	809
1.1 Dispositif	809
1.2 Propriétés de la figure d'interférences	810
1.2.1 Expression de l'éclairement	810
1.2.2 Interfrange et contraste	811
1.2.3 Ordre d'interférence	812
1.2.4 Utilisation de fentes	812
1.3 Taille de la source - cohérence spatiale	814
1.3.1 Influence de la longueur de la source	814
1.3.2 Influence de la largeur de la source	814
1.4 Source non monochromatique	816
1.4.1 Cas d'un doublet	816
1.4.2 Source quasi-monochromatique	819
1.4.3 Interférences en lumière blanche	820
2 AUTRES SYSTEMES A DIVISION DU FRONT D'ONDE	822
2.1 Miroir de Lloyd	822
2.2 Biprisme de Fresnel	822
Exercices du chapitre 3	823
Exercice 1 : Fentes de Young	823
Exercice 2 : Contraste pour une source polychromatique	826
Exercice 3 : Mesure de la largeur spectrale d'une source	829
Exercice 4 : Miroir de Lloyd	831
Exercice 5 : Interférences par un biprisme	835

Exercice 6 : Fentes de Young – effet d'un déplacement	837
CHAPITRE 4 Interférences par division d'amplitude	845
1 LAME A FACES PARALLELES	845
1.1 Définition	845
1.2 Division d'amplitude	845
1.3 Franges non localisées	846
1.4 Franges d'égale inclinaison	848
1.4.1 Différence de marche	848
1.4.2 Expression de l'éclairement	849
1.4.3 Franges de Haidinger	850
1.4.4 Ordre d'interférence	852
1.4.5 Rayons des anneaux	853
1.5 Etude en lumière non monochromatique	854
1.5.1 Doublet	854
1.5.2 Lumière blanche	855
1.6 Influence de la largeur de la source	856
1.7 Application : les couches minces	857
1.7.1 Couche antireflet	857
1.7.2 Couche réfléchissante	859
2 LAME EN COIN	860
2.1 Source ponctuelle monochromatique	860
2.1.1 Localisation de l'image d'interférences	861
2.1.2 Différence de marche	861
2.1.3 Forme des franges - interfrange	862
2.1.4 Ordre d'interférence	862
2.1.5 Contraste	863
2.2 Source étendue monochromatique	863
2.3 Source blanche	863
2.4 Application : étude des surfaces	864
3 INTERFEROMETRE DE MICHELSON	864
3.1 Principe	864
3.2 lame compensatrice	865
3.3 Fonctionnement	866
3.3.1 lame d'air	866
3.3.2 Coin d'air	867
3.4 Utilisation	868
Exercices du chapitre 4	869
Exercice 1 : lame à faces parallèles en transmission	869
Exercice 2 : Couche mince	874
Exercice 3 : Filtre pourpre	877
Exercice 4 : Interféromètre de Michelson	879
Exercice 5 : Anneaux de Newton	884
Exercice 6 : Interféromètre de Mach-Zender	888

CHAPITRE 5 Diffraction	893
I PROBLEMATIQUE	893
1.1 Constatations expérimentales	893
1.2 Principe de Huygens-Fresnel	894
2 DIFFRACTION PAR UN OBJET PLAN	895
2.1 Montage	895
2.2 Notion de transmittance	896
2.3 Diffraction à distance finie ou diffraction de Fresnel	897
3 DIFFRACTION DE FRAUNHOFER	901
3.1 Diffraction à l'infini	901
3.2 Formation des images	903
3.3 Diffraction par une fente rectangulaire	905
3.3.1 Calcul de l'éclairement	905
3.3.2 Interprétation de l'image	906
3.3.3 Passage à la fente longue	909
3.3.4 Diffraction par les fentes de Young	910
3.4 Diffraction par une pupille circulaire	912
3.4.1 Eclairement	912
3.4.2 Application à la résolution des instruments optiques	914
4 RESEAU PLAN PAR TRANSMISSION	915
4.1 Définition	915
4.2 Eclairement	916
4.3 Formule du réseau	919
4.4 Spectres	920
Exercices du chapitre 5	921
Exercice 1 : Diffraction de Fresnel	921
Exercice 2 : Diffraction par une transmittance exponentielle	924
Exercice 3 : Théorème de Babinet	927
Exercice 4 : Apodisation	931
Exercice 5 : Diffraction par quatre fentes	933
Exercice 6 : Diffraction par un prisme	936
Exercice 7 : Diffraction par un réseau sinusoïdal	939
PROBLEMES	941
Problème 1 : Expérience des fentes de Young	941
Problème 2 : Interféromètre de Michelson	948
Problème 3 : Résolution angulaire d'un système double avec une lunette	957
Problème 4 : Interférométrie stellaire	963

THERMODYNAMIQUE	975
CHAPITRE I Potentiels thermodynamiques	977
I RAPPELS	977
I.1 Premier principe	977
I.1.1 Enoncé	977
I.1.2 Enthalpie	977
I.1.3 Capacités calorifiques ou thermiques	978
I.2 Deuxième principe	978
I.2.1 Enoncé	978
I.2.2 Calcul de l'entropie	978
I.2.3 Identités thermodynamiques	979
I.3 Troisième principe	979
2 POTENTIELS THERMODYNAMIQUES	979
2.1 Energies utilisables	979
2.2 Notion de potentiel	9892
2.3 Energie libre et enthalpie libre	982
2.3.1 Energie libre	982
2.3.2 Enthalpie libre	983
3 FONCTIONS CARACTERISTIQUES	984
3.1 Identités thermodynamiques	984
3.2 Variables naturelles	984
3.3 Jeux d'équations aux dérivées partielles	985
3.3.1 Dérivées partielles des fonctions d'état	985
3.3.2 Relations de Maxwell	985
3.3.3 Formules de Gibbs-Helmholtz	985
3.3.4 Différentielles des fonctions d'état et équation d'état	986
3.3.5 Relations entre capacités calorifiques et équation d'état	986
3.4 Fonctions caractéristiques	988
Exercices du chapitre I	991
Exercice 1 : Capacité calorifique à volume constant d'un gaz de molécules diatomiques	991
Exercice 2 : Capacité calorifique des solides	995
Exercice 3 : Gaz de particules ponctuelles à basse température	1000
Exercice 4 : Gaz de photons - modèle cosmologique	1004
CHAPITRE 2 Equilibre de phases du corps pur	1009
I ETUDE GENERALE	1009
I.1 Condition d'équilibre	1009
I.2 Nombre de phases - variance	1009
I.3 Equation de Clapeyron	1010

2 APPLICATION AU DIAGRAMME D'ETAT	1011
2.1 Equilibre liquide-vapeur	1011
2.2 Equilibre solide-liquide	1013
2.3 Equilibre solide-solide	1016
2.4 Equilibre solide-vapeur	1016
Exercices du chapitre 2	1017
Exercice 1 : Equilibre liquide-vapeur du gaz de van der Waals	1017
Exercice 2 : Equilibre solide-vapeur de l'argon	1022
Exercice 3 : Equilibre diamant-graphite	1026
Exercice 4 : Diagramme d'état du benzène	1029
CHAPITRE 3 Diffusion de particules	1033
I PHENOMENES DE TRANSFERT	1033
1.1 Collisions des particules	1033
1.2 Libre parcours moyen	1034
2 DIFFUSION	1035
2.1 Définition	1035
2.2 Flux et densité de flux	1035
2.3 Loi de Fick	1035
2.3.1 Autodiffusion	1035
2.3.2 Diffusion réciproque	1036
2.3.3 Ordres de grandeur	1037
2.4 Equation de diffusion	1037
2.5 Diffusion stationnaire	1038
2.6 Expression du coefficient d'autodiffusion	1039
Exercices du chapitre 3	1041
Exercice 1 : Diffusion d'un soluté entre deux solvants	1041
Exercice 2 : Diffusion de particules solides	1045
Exercice 3 : Evolution d'un pic de concentration	1050
Exercice 4 : Approche statistique du libre parcours moyen - évaporation atmosphérique	1054
CHAPITRE 4 Conduction thermique	1059
I PRELIMINAIRES	1059
1.1 Cadre général	1059
1.2 Les différents transferts thermiques	1059
1.2.1 Conduction	1059
1.2.2 Convection	1060
1.2.3 Rayonnement	1060
1.3 Flux thermique et densité de flux thermique	1060

2 CONDUCTION	1061
2.1 Loi de Fourier	1061
2.1.1 Etablissement	1061
2.1.2 Ordres de grandeur	1061
2.1.3 Analogies avec la diffusion et la conduction électrique	1062
2.2 Equation de la chaleur	1063
2.3 Etat stationnaire	1064
2.3.1 Conservation du flux thermique	1065
2.3.2 Résistance thermique	1065
3 CONVECTION	1067
3.1 Description	1067
3.1.1 Convection libre	1067
3.2.1 Convection forcée	1067
3.2 Loi de Newton	1068
3.3 Terme source lié à la convection	1069
Exercices du chapitre 4	1075
Exercice 1 : Retour à l'équilibre thermique	1075
Exercice 2 : Refroidissement par conduction et par convection	1079
Exercice 3 : Régime stationnaire d'une source	1082
Exercice 4 : Résistance thermique par convection	1088
Exercice 5 : Onde thermique	1091
PROBLEMES	1095
Problème 1 : Irréversibilité et fonction G^*	1095
Problème 2 : Cuisson d'un soufflet	1105
Problème 3 : Etude thermodynamique d'une mole d'eau	1115
Problème 4 : « Courant » thermique autour d'une sphère	1123
COMPLEMENTS	1129
CHAPITRE I Opérateurs de dérivation spatiale	1131
I OPERATEURS DE CHAMP	1131
1.1 Gradient d'un champ de scalaires	1131
1.2 Divergence d'un champ de vecteurs	1132
1.2.1 Définition	1132
1.2.2 Théorème de Green-Ostrogradsky	1135
1.2.3 Champs à flux conservatif	1136
1.2.4 Caractère divergent ou convergent d'un champ de vecteurs	1136
1.3 Rotationnel d'un champ de vecteurs	1137
1.3.1 Définition	1137
1.3.2 Théorème de Stokes-Ampère	1137

1.3.3 Caractère « tournant » d'un champ de vecteurs	1138
1.4 Opérateur nabla	1139
1.5 Opérateur de Laplace	1141
2 PROPRIETES	1143
2.1 Linéarité	1143
2.2 Permutabilité	1144
2.3 Propriétés du gradient	1144
2.4 Potentiel scalaire	1145
2.5 Propriétés du rotationnel	1146
2.6 Potentiel vecteur	1147
2.7 Propriétés de la divergence	1147
2.8 Récapitulatif	1148
2.9 Théorème de Green-Ostrogradsky généralisé	1148
CHAPITRE 2 Décomposition spectrale	1149
1 FONCTIONS PERIODIQUES	1149
1.1 Définition	1149
1.2 Série trigonométrique	1150
1.3 Série de Fourier	1151
1.4 Spectres	1152
1.4.1 Définition	1152
1.4.2 Représentation	1153
2 FONCTIONS NON PERIODIQUES	1154
2.1 Fonctions sommables	1154
2.2 Transformée de Fourier	1154
2.3 La fonction sinus cardinal	1155
2.4 La fonction sinus cardinal au carré	1157
2.5 Décomposition d'une fonction en intégrale de Fourier	1157
2.6 Spectres	1158
CHAPITRE 3 Equations aux dérivées partielles	1161
1 DEFINITION	1161
2 EQUATION UNIQUE	1161
2.1 Equation associée à l'opérateur nabla	1162
2.2 Equation de Laplace	1162
2.2.1 Equation à une dimension	1163
2.2.2 Résolution par méthode de séparation	1164
2.2.3 Equation différentielle d'Euler	1167
2.3 Equation de diffusion	1168
2.4 Equation de propagation	1172
2.4.1 Définition	1172
2.4.2 Equation à une dimension	1172
2.4.3 Séparation des variables	1174

Toute la Physique en PC	1199
2.4.4 Onde plane	1175
3 EQUATIONS MULTIPLES	1176
3.1 Introduction	1176
3.2 Système d'équations du premier ordre	1176
TABLE DES MATIERES	1179