

# TABLE DES MATIERES

<b>AVANT-PROPOS</b>	5
<b>MECANIQUE DES FLUIDES</b>	7
<b>CHAPITRE I Introduction à la Mécanique des fluides</b>	9
1 MILIEU CONTINU	9
1.1 Définition	9
1.2 Milieu fluide	10
1.3 Liquides et gaz	11
1.4 Forces internes	12
1.4.1 Contrainte - pression	12
1.4.2 Viscosité	13
1.4.3 Forces volumiques	14
2 CARACTERISTIQUES D'UN ECOULEMENT	14
2.1 Grandeurs locales - champs	14
2.2. Description lagrangienne	15
2.3 Description eulérienne	15
2.4 Relation entre dérivées lagrangienne et eulérienne	16
2.5 Lignes de courant	18
2.6 Tube de champ	19
2.7 Profil de vitesse et profil thermique	19
3 DESCRIPTION EXPERIMENTALE D'UN ECOULEMENT	20
3.1 Expérience de Reynolds	20
3.2 Variations temporelles	21
3.3 Loi de perte de charge	21
3.4 Expérience de Prandtl	22
3.5 Généralisation	23
<b>CHAPITRE 2 Equations générales</b>	25
1 EQUATIONS FONDAMENTALES	25
1.1 Introduction	25
1.2 Equation de continuité	25
1.3 Equation du mouvement	27

1.3.1 Expression générale	27
1.3.2 Contrainte de viscosité	28
1.3.3 Expression volumique de la force de viscosité	28
1.3.4 Accélération	29
1.3.5 Equation de Navier-Stokes	30
1.4 Equation d'état	30
1.5 Equation thermodynamique	31
1.6 Cas particuliers	32
1.6.1 Fluide incompressible	32
1.6.2 Fluide parfait	32
1.6.3 Ecoulement potentiel	32
1.6.4 Ecoulement stationnaire	32
<b>2 BILANS DANS UN SYSTEME OUVERT</b>	<b>33</b>
2.1 Système ouvert	33
2.2 Forme macroscopique d'une équation-bilan	33
2.3 Forme locale d'une équation-bilan	35
2.4 Dérivée particulaire	35
2.5 Utilisation des lois de la Mécanique	36
2.6 Débit d'une grandeur extensive	38
2.6.1 Définition	38
2.6.2 Principaux débits	38
2.6.3 Application à un tube de courant	39
<b>CHAPITRE 3 Fluide parfait</b>	<b>41</b>
<b>I CARACTERISTIQUES GENERALES</b>	<b>41</b>
1.1 Définition	41
1.2 Evolution isentropique	41
1.3 Equation d'Euler	41
<b>2 THEOREMES DYNAMIQUES</b>	<b>42</b>
2.1 Théorème de Bernoulli	42
2.2 Théorème de Thomson	46
2.3 Effet Venturi	47
<b>3 ECOULEMENT POTENTIEL</b>	<b>48</b>
3.1 Equation de Laplace	48
3.2 Champ de pression	48
3.3 Paradoxe de d'Alembert	51
3.3.1 Déviation de l'écoulement	51
3.3.2 Force exercée sur l'obstacle	53
<b>Exercices du chapitre 3</b>	<b>55</b>
Exercice 1 : Ecoulement dans un dièdre	55
Exercice 2 : Masse apparente d'un obstacle	59
Exercice 3 : Calcul de portance	62
Exercice 4 : Durée de vidange d'un réservoir	65

Exercice 5 : Effet Magnus	68
Exercice 6 : Traînée d'une demi-sphère	72
Exercice 7 : Écoulement confiné	77
Exercice 8 : Validité de la formule de Torricelli	82
Exercice 9 : Tourniquet	85
Exercice 10 : Déplacement d'une plaque	90
<b>CHAPITRE 4 Notions de base sur les fluides newtoniens</b>	<b>95</b>
1 GENERALITES	95
1.1 Définition	95
1.2 Equations de l'écoulement	95
1.3 Nombre de Reynolds	96
1.3.1 Définition mathématique	96
1.3.2 Définition physique	97
2 SOLUTIONS EXACTES	98
2.1 Situation asymptotique	98
2.2 Écoulement de Poiseuille	99
2.3 Écoulement entre deux plaques planes	101
2.4 Écoulement entre deux cylindres coaxiaux	103
3 SOLUTIONS APPROCHEES	104
3.1 Formule de Stokes	105
3.2 Couche limite laminaire	108
4 LOI DE PERTE DE CHARGE	111
4.1 Introduction	111
4.2 Définition	111
4.3 Loi de perte de charge pour la sphère	112
4.4 Loi de perte de charge pour la conduite circulaire	112
4.5 Loi de perte de charge entre deux plaques planes	113
4.6 Loi de perte de charge pour la couche limite	113
4.7 Écoulement autour d'un corps quelconque	114
4.7.1 Écoulement à distance	114
4.7.2 Couche limite	114
4.7.3 Sillage	116
4.7.4 Portance et traînée	116
5 TURBULENCE	117
5.1 Cause de la turbulence	117
5.2 Lois de perte de charge	118
<b>Exercices du chapitre 4</b>	<b>119</b>
Exercice 1 : Écoulement cisailé	119
Exercice 2 : Ondes transversales dans un fluide	123
Exercice 3 : Résistance mécanique d'un réseau de conduites	127

Exercice 4 : Ecoulement dans le champ de pesanteur	130
Exercice 5 : Perte de charge dans une conduite elliptique	133
<b>PROBLEMES</b>	139
Problème 1 : Ecoulement d'un liquide dans un canal	139
Problème 2 : Oscillations de fluide entre deux bassins	146
Problème 3 : Jet plan émis par une fente	152
Problème 4 : Sustentation d'une plaque	161
Problème 5 : Ecoulement d'un film mince sur un plan incliné	168
Problème 6 : Navigation à voile	175
<b>ELECTROMAGNETISME</b>	183
<b>CHAPITRE I Equations de Maxwell</b>	185
<b>I EQUATIONS LOCALES</b>	185
1.1 Densités de charges et de courants	185
1.2 Notion de champ électromagnétique	185
1.3 Equation de continuité	186
1.4 Equations locales du champ électrostatique	187
1.5 Equations locales du champ magnétostatique	188
1.6 Loi de Faraday	189
<b>2 EQUATIONS DE MAXWELL</b>	191
2.1 Généralisation des équations locales de la statique	191
2.2 Equations de Maxwell	193
2.3 Expression générale du champ électromagnétique	195
2.4 Relations de continuité	196
2.4.1 Champ électrique	197
2.4.2 Champ magnétique	198
<b>3 ENERGIE ELECTROMAGNETIQUE</b>	200
3.1 Force de Lorentz - loi de Joule	200
3.2 Notion d'énergie électromagnétique	201
3.3 Grandeurs énergétiques locales	202
3.3.1 Définitions	202
3.3.2 Equation de continuité	203
3.3.3 Expressions de $w$ et $\vec{\Pi}$	204
<b>4 RETOUR SUR LA STATIQUE</b>	205
4.1 Electrostatique	205
4.1.1 Equation de Poisson	205
4.1.2 Energie électrostatique	207
4.2 Magnétostatique	209
4.2.1 Equivalent magnétique de l'équation de Poisson	209

4.2.2 Energie magnétostatique	209
5 APPROXIMATION DES REGIMES QUASI-STATIONNAIRES	210
<b>Exercices du chapitre 1</b>	213
Exercice 1 : Câble coaxial	213
Exercice 2 : Condensateur à symétrie cylindrique	218
Exercice 3 : Migration des charges dans un conducteur	221
Exercice 4 : Solénoïde en régime variable	225
Exercice 5 : Développement en série du champ magnétique	228
Exercice 6 : Energie électrostatique d'un système de charges	233
<b>CHAPITRE 2 Induction</b>	237
1 INTRODUCTION	237
2 FORCE ELECTROMOTRICE D'INDUCTION	237
2.1 Transformation du champ entre référentiels galiléens	237
2.2 Généralisation de la loi d'Ohm	238
2.3 Champ électromoteur	239
2.4 Force électromotrice d'induction	239
2.5 Courant induit	240
2.6 Loi de Faraday	241
2.6.1 Circuit fixe dans un champ variable	241
2.6.2 Circuit mobile dans un champ constant	241
2.6.3 Enoncé général	242
3 INDUCTION DE NEUMANN	244
3.1 Inductances	244
3.1.1 Inductance mutuelle de deux circuits	244
3.1.2 Inductance propre d'un circuit	245
3.1.3 Généralisation	245
3.2 Loi de Lenz	246
3.3 Dipôle inductance	246
3.4 Auto-induction	247
3.5 Energie magnétique d'un ensemble de circuits	248
3.5.1 Circuit unique	248
3.5.2 Cas de deux circuits	249
3.5.3 Cas de $n$ circuits	250
4 INDUCTION DE LORENTZ	250
4.1 Action mécanique	250
4.2 Aspect énergétique	252
4.3 Transducteurs électromécaniques	253
4.3.1 Définition	253
4.3.2 Exemple : haut-parleur électrodynamique	254
5 ELEMENTS DE MECANIQUE DU SOLIDE	257
5.1 Solide parfait	257

5.2 Champ de vitesse	257
5.2.1 Vecteur rotation	257
5.2.2 Vitesse du centre d'inertie	258
5.2.3 Mouvement de translation	258
5.2.4 Mouvement de rotation - angles d'Euler	258
5.2.5 Rotation autour d'un axe fixe	259
5.3 Grandeurs cinétiques	259
5.3.1 Quantité de mouvement	259
5.3.2 Moment cinétique	260
5.3.3 Energie cinétique	260
5.4 Rotation autour d'un axe fixe	261
5.4.1 Equation du mouvement	261
5.4.2 Liaison parfaite	261
<b>Exercices du chapitre 2</b>	<b>263</b>
Exercice 1 : Stabilité dans un champ magnétique	263
Exercice 2 : Freinage par induction	268
Exercice 3 : Capacité et inductance propre d'un câble coaxial	272
Exercice 4 : Tige en rotation dans un champ magnétique	275
Exercice 5 : Roue de Barlow	279
Exercice 6 : Embrayage électromagnétique	282
<b>CHAPITRE 3 Propriétés électromagnétiques de la matière</b>	<b>285</b>
I PROPRIETES GENERALES	285
1.1 Equations de Maxwell reliant le champ aux sources	285
1.2 Equations de Maxwell dites « dans la matière »	286
1.3 Polarisation	287
1.3.1 Définition	287
1.3.2 Charges de polarisation	288
1.3.3 Courants de polarisation	288
1.4 Aimantation	289
1.4.1 Définition	289
1.4.2 Courants d'aimantation	289
1.5 Expressions des vecteurs $\vec{D}$ et $\vec{H}$	290
2 MILIEU LINEAIRE ISOTROPE ET HOMOGENE	290
2.1 Susceptibilités	290
2.2 Permittivité diélectrique et perméabilité magnétique	291
2.3 Equations dans les différents milieux	292
2.3.1 Diélectriques	292
2.3.2 Conducteurs	292
3 MILIEUX MAGNETIQUES	293
3.1 Classification	293
3.1.1 Diamagnétiques	294
3.1.2 Paramagnétiques	294
3.1.3 Ferromagnétiques	295
3.1.4 Ferrimagnétiques	296

3.2 Susceptibilités diamagnétique et paramagnétique	296
3.3 Hystérésis des ferromagnétiques	297
3.3.1 Courbe de première aimantation	297
3.3.2 Cycle d'hystérésis	298
3.3.3 Perte d'énergie	299
<b>PROBLEMES</b>	<b>301</b>
Problème 1 : Champ électromagnétique dans un condensateur plan cylindrique	301
Problème 2 : Inversions du champ magnétique terrestre	312
Problème 3 : Roue de Barlow motrice	318
Problème 4 : Haut-parleur électrodynamique	325
Problème 5 : Induction entre une bobine et une spire	335
<b>PHYSIQUE DES ONDES</b>	<b>341</b>
<b>CHAPITRE I Introduction à la Physique des ondes</b>	<b>343</b>
<b>I QUELQUES EXEMPLES</b>	<b>343</b>
1.1 Vibrations longitudinales dans un cristal	343
1.2 Corde vibrante	346
1.3 Membrane vibrante	348
1.4 Equation de d'Alembert	349
<b>2 ONDE PLANE</b>	<b>350</b>
2.1 Etude de l'équation à une dimension	350
2.1.1 Onde progressive	350
2.1.2 Vitesse de phase	351
2.1.3 Vecteur d'onde	351
2.1.4 Surfaces d'onde	352
2.1.5 Onde réfléchie	352
2.2. Expression générale de l'onde plane	353
2.3 Polarisation d'une onde vectorielle	354
2.4 Onde sinusoïdale	354
2.4.1 Définitions	354
2.4.2 Notation complexe	355
2.4.3 Intérêt théorique	356
<b>3 PROPAGATION D'UN TRAIN D'ONDE</b>	<b>357</b>
3.1 Définition	357
3.2 Dispersion	359
3.2.1 Relation de dispersion	359
3.2.2 Dispersion d'un paquet d'ondes	359
3.2.3 Obtention de la relation de dispersion	360
3.3 Train d'onde et vitesse de groupe	361
3.4 Propagation de l'énergie	362

3.5 Absorption	364
<b>4 AUTRES SOLUTIONS DE L'EQUATION DE D'ALEMBERT</b>	<b>365</b>
4.1 Onde sphérique	365
4.1.1 Définition - propriétés	365
4.1.2 Relation avec l'onde plane	366
4.2 Onde sinusoïdale non plane	367
4.3 Onde stationnaire	367
<b>Exercices du chapitre 1</b>	<b>371</b>
Exercice 1 : Onde progressive sur une chaîne de pendules	371
Exercice 2 : Transport d'énergie le long d'une chaîne de pendules	375
Exercice 3 : Transmission d'une onde transversale entre cordes	381
Exercice 4 : Réflexion d'une onde mécanique sur une masse	386
<b>CHAPITRE 2 Ondes sonores dans les fluides</b>	<b>391</b>
<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>391</b>
<b>2 APPROXIMATION ACOUSTIQUE</b>	<b>391</b>
2.1 Petites perturbations adiabatiques	391
2.2 Equations du fluide	392
2.3 Equations de propagation	393
<b>3 ONDE SONORE PLANE SINUSOÏDALE</b>	<b>395</b>
3.1 Relation de dispersion - vitesse du son	395
3.2 Impédance acoustique	396
<b>4 TRANSPORT D'ENERGIE</b>	<b>398</b>
4.1 Définitions	398
4.2 Equation de continuité	399
4.3 Application à l'onde plane progressive sinusoïdale	401
4.4 Application à l'onde stationnaire	402
4.5 Eléments d'acoustique	403
4.5.1 Intensité objective	403
4.5.2 Intensité subjective	404
4.5.3 Domaine spectral	405
4.6 Absorption et dispersion	405
4.7 Atténuation avec l'éloignement	406
<b>5 REFLEXION ET TRANSMISSION SUR UNE SURFACE PLANE</b>	<b>406</b>
5.1 Ondes réfléchie et transmise en incidence normale	406
5.2 Coefficients énergétiques	408
<b>Exercices du chapitre 2</b>	<b>409</b>
Exercice 1 : Effet de paroi - filtrage acoustique	409
Exercice 2 : Amortissement par émission sonore	413

Exercice 3 : Atténuation d'un bruit par effet de paroi	417
Exercice 4 : Division d'une onde sonore	422
Exercice 5 : Relation de dispersion dans un fluide visqueux	425
Exercice 6 : Réflexion et transmission en incidence oblique	430
<b>CHAPITRE 3 Ondes électromagnétiques dans le vide</b>	<b>435</b>
I EQUATIONS DE PROPAGATION	435
1.1 Equations de Maxwell dans le vide	435
1.2 Equations des potentiels - jauge de Lorentz	436
1.3 Vitesse de la lumière dans le vide	438
1.4 La propagation : propriété intrinsèque	439
2 ONDE PLANE SINUSOÏDALE	440
2.1 Structure	440
2.2 Polarisation	442
2.2.1 Polarisation elliptique	442
2.2.2 Polarisation circulaire	444
2.2.3 Polarisation rectiligne	444
2.2.4 Emission naturelle	445
2.3 Spectre électromagnétique	446
3 TRANSPORT D'ENERGIE	448
3.1 Equation de continuité	448
3.2 Application à l'onde plane progressive sinusoïdale	448
<b>Exercices du chapitre 3</b>	<b>451</b>
Exercice 1 : Onde stationnaire	451
Exercice 2 : Solutions de l'équation de d'Alembert à dépendance sinusoïdale	453
Exercice 3 : Limite supérieure de la masse du photon	456
Exercice 4 : Transport d'énergie par une onde non plane	460
Exercice 5 : Combinaisons des éclairissements des ondes plane	465
<b>CHAPITRE 4 Ondes électromagnétiques dans la matière</b>	<b>469</b>
I CONDUCTEURS SOLIDES	469
1.1 Equation de propagation	469
1.2 Onde plane sinusoïdale	469
1.2.1 Relation de dispersion	469
1.2.2 Dissipation de l'énergie	470
1.2.3 Effet de peau	470
1.2.4 Vitesses de propagation	471
1.3 Réflexion sur un conducteur parfait	471
1.3.1 Définition	471
1.3.2 Ondes réfléchie et transmise	472
1.3.3 Onde stationnaire - modes propres	474

<b>2 ONDES ET DIELECTRIQUES</b>	<b>475</b>
2.1 Equations de propagation	475
2.2 Onde plane sinusoïdale	475
2.2.1 Relation de dispersion - indice de réfraction	475
2.2.2 Vitesse de propagation	476
2.2.3 Structure de l'onde	477
2.3 Transport d'énergie	478
2.3.1 Equation de continuité	478
2.3.2 Application à l'onde plane progressive sinusoïdale	479
2.4 Réflexion et transmission en incidence normale	480
2.4.1 Ondes réfléchie et transmise	480
2.4.2 Coefficients énergétiques de réflexion et de transmission	482
2.5 Lois de Descartes	482
2.5.1 Démonstration	482
2.5.2 Pouvoir réfringent dans le visible	483
2.5.3 Pouvoir dispersif	484
2.5.4 Incidence limite	484
2.5.5 Dioptre non plan	485
<b>3 PLASMAS</b>	<b>485</b>
3.1 Définition	485
3.2. Conductivité complexe	485
3.3 Relation de dispersion	486
3.4 Propagation des ondes	487
3.5 Indice de réfraction	488
3.6 Structure de l'onde plane monochromatique	488
<b>Exercices du chapitre 4</b>	<b>489</b>
Exercice 1 : Vitesse de groupe dans un conducteur	489
Exercice 2 : Absorption dans un conducteur	494
Exercice 3 : Réflexion vitreuse	498
Exercice 4 : Incidence de Brewster	502
Exercice 5 : Propagation dans un plasma	505
Exercice 6 : Filtrage électromagnétique	511
Exercice 7 : Couche antireflet	515
<b>PROBLEMES</b>	<b>521</b>
Problème 1 : Spectre d'ondes stationnaires sur une corde	521
Problème 2 : Ondes dans les solides	529
Problème 3 : Ondelettes sur une surface liquide	537
Problème 4 : Ecoute d'un haut-parleur dans un local	545
Problème 5 : Couplage par onde sonore	551
Problème 6 : Instruments de musique à vent	562
Problème 7 : Propagation entre deux plans conducteurs	568
Problème 8 : Relation de dispersion dans un champ magnétique	575

Problème 9 : Sondages ionosphériques	583
Problème 10 : Propagation dans une ligne coaxiale	595
Problème 11 : Etude d'une ligne coaxiale	603
<b>OPTIQUE PHYSIQUE</b>	<b>621</b>
<b>CHAPITRE I Généralités</b>	<b>623</b>
I L'ONDE LUMINEUSE	623
1.1 Equation d'onde	623
1.2 Les différentes formes d'onde	623
1.2.1 Onde monochromatique	623
1.2.2 Onde quasi-monochromatique	625
1.2.3 Onde plane	627
1.2.4 Onde quasi-plane	627
2 OPTIQUE GEOMETRIQUE	629
2.1 Principe de Huygens	629
2.2 Principe de Fermat	630
2.2.1 Chemin optique	630
2.2.2 Enoncé du principe	630
2.2.3 Retour inverse de la lumière	631
2.2.4 Chemin optique et évolution de la phase	632
2.2.5 Stigmatisme	632
3 RECEPTEURS DE LUMIERE	632
3.1 Propagation de l'énergie	632
3.2 Eclairage	633
3.3 Photométrie et grandeurs mesurables	634
<b>CHAPITRE 2 Interférences à deux ondes</b>	<b>635</b>
I INTRODUCTION	635
2 SUPERPOSITION DE DEUX ONDES MONOCHROMATIQUES ISO- CHRONES	635
2.1 Nécessité d'isochronicité	635
2.2 Cas général	636
2.3 Ondes planes de polarisation rectiligne	638
2.4 Ondes sphériques de polarisation rectiligne	641
2.4.1 Franges rectilignes	642
2.4.2 Franges annulaires	643
3 NOTIONS DE COHERENCE DES SOURCES	644
3.1 Cohérence temporelle	644
3.1.1 Nécessité d'une source unique	644
3.1.2 Longueur de cohérence	646

3.1.3 Nouvelle expression de l'éclairement	647
3.2 Cohérence spatiale et largeur de cohérence	648
<b>4 METHODES DE DEDOUBLEMENT</b>	<b>649</b>
4.1 Division du front d'onde	649
4.2 Division d'amplitude	649
<b>Exercices du chapitre 2</b>	<b>651</b>
Exercice 1 : Chemin optique et déphasage	651
Exercice 2 : Interférences de deux ondes planes monochromatiques	653
Exercice 3 : Interférences de deux ondes sphériques	656
<b>CHAPITRE 3 Interférences par division du front d'onde</b>	<b>659</b>
<b>I LES TROUS DE YOUNG</b>	<b>659</b>
1.1 Dispositif	659
1.2 Propriétés de la figure d'interférence	660
1.2.1 Expression de l'éclairement	660
1.2.2 Interfrange et contraste	661
1.2.3 Ordre d'interférence	662
1.2.4 Utilisation de fentes	662
1.3 Taille de la source - cohérence spatiale	664
1.3.1 Influence de la longueur de la source	664
1.3.2 Influence de la largeur de la source	664
1.4 Source non monochromatique	666
1.4.1 Cas d'un doublet	666
1.4.2 Source quasi-monochromatique	669
1.4.3 Interférences en lumière blanche	670
<b>2 AUTRES SYSTEMES A DIVISION DU FRONT D'ONDE</b>	<b>672</b>
2.1 Miroir de Lloyd	672
2.2 Biprisme de Fresnel	672
<b>Exercices du chapitre 3</b>	<b>673</b>
Exercice 1 : Fentes de Young	673
Exercice 2 : Contraste pour une source polychromatique	676
Exercice 3 : Mesure de la largeur spectrale d'une source	679
Exercice 4 : Miroir de Lloyd	681
Exercice 5 : Interférences par un biprisme	685
Exercice 6 : Fentes de Young - effet d'un déplacement	687
<b>CHAPITRE 4 Interférences par division d'amplitude</b>	<b>695</b>
<b>I LAME A FACES PARALLELES</b>	<b>695</b>
1.1 Définition	695
1.2 Division d'amplitude	695
1.3 Franges non localisées	696

1.4 Franges d'égalé inclinaison	698
1.4.1 Différence de marche	698
1.4.2 Expression de l'éclairement	699
1.4.3 Franges de Haidinger	700
1.4.4 Ordre d'interférence - déphasage	702
1.4.5 Rayons des anneaux	703
1.5 Etude en lumière non monochromatique	704
1.5.1 Doublet	704
1.5.2 Lumière blanche	705
1.6 Influence de la largeur de la source	706
1.7 Application : les couches minces	707
1.7.1 Couche antireflet	707
1.7.2 Couche réfléchissante	710
<b>2 LAME EN COIN</b>	<b>710</b>
2.1 Source ponctuelle monochromatique	711
2.1.1 Localisation de l'image d'interférence	711
2.1.2 Différence de marche	711
2.1.3 Forme des franges - interfrange	712
2.1.4 Ordre d'interférence	713
2.1.5 Contraste	713
2.2 Source étendue monochromatique	713
2.3 Source blanche	714
2.4 Application : étude des surfaces	714
<b>3 INTERFEROMETRE DE MICHELSON</b>	<b>714</b>
3.1 Principe	714
3.2 lame compensatrice	715
3.3 Fonctionnement	716
3.3.1 lame d'air	716
3.3.2 Coin d'air	717
3.4 Utilisation	718
<b>Exercices du chapitre 4</b>	<b>719</b>
Exercice 1 : lame à faces parallèles en transmission	719
Exercice 2 : Couche mince en réflexion	724
Exercice 3 : Filtre pourpre	727
Exercice 4 : Interféromètre de Michelson - étude de défauts de planéité	729
Exercice 5 : Anneaux de Newton	734
Exercice 6 : Interféromètre de Mach-Zender	738
<b>CHAPITRE 5 Diffraction</b>	<b>743</b>
<b>I PROBLEMATIQUE</b>	<b>743</b>
1.1 Constatations expérimentales	743
1.2 Principe de Huygens-Fresnel	744
<b>2 DIFFRACTION PAR UN OBJET PLAN</b>	<b>745</b>

2.1 Montage	745
2.2 Notion de transmittance	746
2.3 Diffraction à distance finie ou diffraction de Fresnel	747
<b>3 DIFFRACTION DE FRAUNHOFER</b>	<b>750</b>
3.1 Diffraction à l'infini	750
3.2 Formation des images	752
3.3 Diffraction par une fente rectangulaire	754
3.3.1 Calcul de l'éclairement	754
3.3.2 Interprétation de l'image	755
3.3.3 Passage à la fente longue	758
3.3.4 Diffraction par les fentes de Young	760
3.4 Diffraction par une pupille circulaire	761
3.4.1 Eclairement	761
3.4.2 Application à la résolution des instruments optiques	763
<b>4 RESEAU PLAN PAR TRANSMISSION</b>	<b>764</b>
4.1 Définition	764
4.2 Eclairement	765
4.3 Formule du réseau	768
4.4 Spectres	769
<b>Exercices du chapitre 5</b>	<b>771</b>
Exercice 1 : Diffraction de Fresnel	771
Exercice 2 : Diffraction par une transmittance exponentielle	774
Exercice 3 : Théorème de Babinet	777
Exercice 4 : Apodisation en diffraction de Fraunhofer	781
Exercice 5 : Diffraction par quatre fentes	783
Exercice 6 : Diffraction par un prisme	786
Exercice 7 : Diffraction par un réseau sinusoïdal	789
<b>PROBLEMES</b>	<b>791</b>
Problème 1 : Expérience des fentes de Young	791
Problème 2 : Interféromètre de Michelson	798
Problème 3 : Résolution angulaire d'un système double avec une lunette	807
Problème 4 : Interférométrie stellaire	813
<b>PHYSIQUE APPLIQUEE</b>	<b>825</b>
<b>CHAPITRE I Electronique des systèmes linéaires</b>	<b>827</b>
<b>I REPONSE D'UN SYSTEME LINEAIRE A UN SIGNAL SINUSOIDAL</b>	<b>827</b>
1.1 Système linéaire	827
1.2 Régime sinusoïdal	828

1.3 Diagramme de Bode	830
<b>2 BASES DU CALCUL OPERATIONNEL</b>	<b>831</b>
2.1 Transformée de Laplace	831
2.2 Principales propriétés	831
2.3 Application aux systèmes linéaires	832
2.4 Réponse à une excitation quelconque	833
2.5 Application aux dipôles électriques	834
<b>3 AMPLIFICATEUR OPERATIONNEL IDEAL</b>	<b>835</b>
<b>4 PRINCIPALES FONCTIONS LINEAIRES</b>	<b>837</b>
4.1 Montages amplificateurs	837
4.1.1 Amplificateur inverseur	837
4.1.2 Amplificateur non inverseur	837
4.2 Montage intégrateur	839
4.3 Montage dérivateur	839
4.4 Filtrage	840
4.5 Montage déphaseur	840
4.6 Fonctions linéaires à plusieurs entrées	841
4.6.1 Amplificateur différentiel	841
4.6.2 Montage sommateur	842
<b>Exercices du chapitre I</b>	<b>843</b>
Exercice 1 : Principe de fonctionnement d'un éthylomètre	843
Exercice 2 : Etude d'un filtre	847
Exercice 3 : Ajustement d'un filtre passe-bande	851
Exercice 4 : Etude d'un filtre passif	854
<b>CHAPITRE 2 Systèmes bouclés</b>	<b>859</b>
<b>I STRUCTURE DE SYSTEME ASSERVI LINEAIRE</b>	<b>859</b>
1.1 Définitions	859
1.2 Nécessité d'une régulation	860
1.3 Système bouclé	860
1.3.1 Principe	861
1.3.2 Structure générale de la chaîne	861
<b>2 TRANSMITTANCE D'UN SYSTEME BOUCLE</b>	<b>862</b>
2.1 Formule de Black	862
2.2 Système à plusieurs boucles	863
2.3 Condition de rétroaction	864
2.4 Fonction régulatrice	864
2.4.1 Variations de la chaîne directe	864
2.4.2 Variations de la chaîne de retour	865
2.4.3 Perturbations extérieures	866
2.4.4 Rôle de la chaîne de retour	866
2.5 Stabilité	867

2.5.1 Définition	867
2.5.2 Cas d'une fonction de transfert d'ordre deux	867
2.5.3 Cas général	869
<b>3 CHAÎNE DIRECTE DU PREMIER ORDRE</b>	<b>870</b>
3.1 Modèle passe-bas de l'amplificateur opérationnel	870
3.2 Bande passante d'une chaîne bouclée	870
3.3 Stabilité - rapidité de réponse	872
<b>4 GENERATEUR DE SIGNAUX</b>	<b>872</b>
4.1 Critère de Barkhausen	873
4.2 Réaction positive	874
4.3 Génération de signaux sinusoïdaux	875
4.4 Génération de signaux quasi-sinusoïdaux	878
4.4.1 Montage	878
4.4.2 Tension fournie	879
4.5 Génération de signaux rectangulaires	881
4.5.1 Comparateur simple	881
4.5.2 Comparateur inverseur à hystérésis	882
4.5.3 Bascule astable	886
<b>Exercices du chapitre 2</b>	<b>887</b>
Exercice 1 : Association de systèmes bouclés	887
Exercice 2 : Montage amplificateur inverseur	889
Exercice 3 : Oscillateur quasi-sinusoïdal à résistance négative	892
Exercice 4 : Etude d'un montage électronique	897
Exercice 5 : Filtre passe-bas	901
<b>CHAPITRE 3 Conversion électronique</b>	<b>905</b>
<b>I COMMUTATION</b>	<b>905</b>
1.1 Nécessité d'une adaptation générateur-récepteur	905
1.2 Principe de la commutation	905
1.3 Continuité des grandeurs électriques	908
1.3.1 Résistor	908
1.3.2 Générateur	908
1.3.3 Condensateur	908
1.3.4 Bobine	908
1.4 Lissage	909
1.5 Convertisseurs – fonctions assurées	911
1.5.1 Définition	911
1.5.2 Convertisseurs statiques	911
<b>2 INTERRUPTEURS</b>	<b>914</b>
2.1 Introduction	914
2.2 Diode	914
2.3 Transistor bipolaire	914

<b>3 GENERATEURS ET RECEPTEURS</b>	<b>918</b>
3.1 Définitions	918
3.2 Amélioration d'une source	919
3.2.1 Amélioration par un condensateur	919
3.2.2 Amélioration par une bobine	920
3.3 Branchements	921
3.3.1 Alimentation d'une source de tension	921
3.3.2 Alimentation d'une source de courant	923
<b>4 HACHEURS</b>	<b>924</b>
4.1 Hacheur dévolteur	924
4.2 Hacheur survolteur	927
<b>Exercices du chapitre 3</b>	<b>931</b>
Exercice 1 : Rendement d'un montage en rhéostat	931
Exercice 2 : Hacheur à liaison indirecte	935
Exercice 3 : Hacheur à stockage capacitif	938
Exercice 4 : Alimentation à découpage	944
<b>CHAPITRE 4 Conversion électromagnétique</b>	<b>949</b>
<b>I CIRCUIT MAGNETIQUE</b>	<b>949</b>
1.1 Définition	949
1.2 Couplage parfait de deux circuits électriques	950
1.3 Couplage partiel de deux circuits électriques	952
<b>2 BOBINE A NOYAU DE FER</b>	<b>954</b>
2.1 Définition	954
2.2 Modèle électrocinétique	954
2.3 Pertes énergétiques	955
2.3.1 Effet Joule dans le noyau	955
2.3.2 Hystérésis	955
2.3.3 Effet Joule dans la bobine	956
<b>3 TRANSFORMATEURS</b>	<b>956</b>
3.1 Définition	956
3.2 Champ magnétique	956
3.3 Inductances	957
3.4 Transformateur parfait	958
3.5 Conversions en tension et en courant	959
3.6 Autotransformateur	959
3.7 Transfert d'énergie	959
3.8 Adaptation de tension	960
3.9 Adaptation d'impédance	960
3.10 Visualisation du cycle d'hystérésis	961

<b>Exercices du chapitre 4</b>	<b>963</b>
Exercice 1 : Etude d'un tore ferromagnétique	963
Exercice 2 : Etude d'un circuit magnétique	968
Exercice 3 : Inductances d'un transformateur	971
Exercice 4 : Principe d'un transformateur	974
<b>CHAPITRE 5 Conversion électromécanique</b>	<b>981</b>
<b>I BILAN ENERGETIQUE</b>	<b>981</b>
1.1 Force de Laplace	981
1.2 Puissance de la force de Laplace	982
<b>2 EXEMPLES SIMPLES</b>	<b>984</b>
2.1 Alternateur	984
2.2 Dynamo	985
2.3 Réversibilité de fonctionnement	986
<b>3 MACHINE A COURANT CONTINU</b>	<b>987</b>
3.1 Description	987
3.2 Force électromotrice	987
3.3 Moment des forces de Laplace	989
3.4 Fonctionnement en moteur	990
3.4.1 Régime continu	990
3.4.2 Régime transitoire	991
3.5 Contrôle par hacheur	992
3.6 Fonctionnement en générateur	993
<b>4 MOTEUR SYNCHRONE</b>	<b>993</b>
4.1 Génération d'un champ magnétique tournant	993
4.2 Action d'un champ magnétique sur un dipôle	994
4.3 Mouvement d'un dipôle dans un champ tournant	995
4.3.1 Mouvement sans résistance	995
4.3.2 Mouvement avec résistance	996
4.4 Principe du moteur synchrone	997
4.4.1 Fonctionnement en moteur	997
4.4.2 Fonctionnement en générateur	998
<b>Exercices du chapitre 5</b>	<b>999</b>
Exercice 1 : Moteur à induction	999
Exercice 2 : Principe du moteur synchrone	1002
Exercice 3 : Moteur à courant continu et dynamo	1007
Exercice 4 : Machine asynchrone	1010
Exercice 5 : Moteur à aimant inducteur	1015
<b>PROBLEMES</b>	<b>1019</b>

Problème 1 : Etude de circuits électriques	1019
Problème 2 : Moteur à induction	1026
Problème 3 : Déformation du courant dans un transformateur	1038
Problème 4 : Matériau magnétique conducteur à basse fréquence	1047
Problème 5 : Différents montages utilisant des transistors	1056

## **THERMODYNAMIQUE**

<b>CHAPITRE I Diffusion de particules</b>	<b>1067</b>
I PHENOMENES DE TRANSFERT	1067
1.1 Collisions des particules	1067
1.2 Libre parcours moyen	1068
2 DIFFUSION	1069
2.1 Définition	1069
2.2 Flux et densité de flux	1069
2.3 Loi de Fick	1069
2.3.1 Autodiffusion	1069
2.3.2 Diffusion réciproque	1070
2.3.3 Ordres de grandeur	1071
2.4 Equation de diffusion	1071
2.5 Diffusion stationnaire	1072
2.6 Expression du coefficient d'autodiffusion	1073
<b>Exercices du chapitre I</b>	<b>1075</b>
Exercice 1 : Diffusion d'un soluté entre deux solvants	1075
Exercice 2 : Diffusion de particules solides	1079
Exercice 3 : Evolution d'un pic de concentration	1084
Exercice 4 : Approche statistique du libre parcours moyen - évaporation atmosphérique	1088
<b>CHAPITRE 2 Conduction thermique</b>	<b>1093</b>
I PRELIMINAIRES	1093
1.1 Cadre général	1093
1.2 Les différents transferts thermiques	1093
1.2.1 Conduction	1093
1.2.2 Convection	1094
1.2.3 Rayonnement	1094
1.3 Flux thermique et densité de flux thermique	1094
2 CONDUCTION	1095
2.1 Loi de Fourier	1095
2.1.1 Etablissement	1095

2.1.2 Ordres de grandeur	1096
2.1.3 Analogies avec la diffusion et la conduction électrique	1096
2.2 Equation de la chaleur	1097
2.3 Etat stationnaire	1099
2.3.1 Conservation du flux thermique	1099
2.3.2 Résistance thermique	1099
<b>3 CONVECTION</b>	<b>1101</b>
3.1 Description	1101
3.1.1 Convection libre	1101
3.2.1 Convection forcée	1102
3.2 Loi de Newton	1102
3.3 Terme source lié à la convection	1103
<b>Exercices du chapitre 2</b>	<b>1109</b>
Exercice 1 : Retour à l'équilibre thermique	1109
Exercice 2 : Refroidissement par conduction et par convection	1113
Exercice 3 : Régime stationnaire d'une source	1116
Exercice 4 : Résistance thermique par convection	1122
Exercice 5 : Onde thermique	1125
<b>COMPLEMENTS</b>	<b>1129</b>
<b>CHAPITRE I Opérateurs de dérivation spatiale</b>	<b>1131</b>
<b>I OPERATEURS DE CHAMP</b>	<b>1131</b>
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
<b>2 PROPRIETES</b>	<b>1143</b>
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
<b>CHAPITRE 2 Décomposition spectrale</b>	<b>1149</b>
I 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
<b>CHAPITRE 3 Equations aux dérivées partielles</b>	<b>1161</b>
I 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
2.4.4 Onde plane	1175
3 EQUATIONS MULTIPLES	1176
3.1 Introduction	1176
3.2 Système d'équations du premier ordre	1176
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>1179</b>