

Pascal Olive

PHYSIQUE

en PC/PC*

Le cours complet

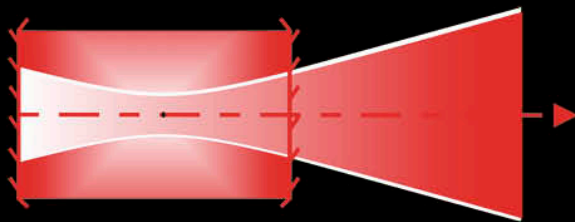


TABLE DES MATIÈRES

□ PREMIÈRE PARTIE : BOÎTE À

OUTILS

DIFFÉRENTIELLES ET FORMES DIFFÉRENTIELLES

1. FONCTIONS DE PLUSIEURS VARIABLES

1.1 Dérivées partielles	3
1.2 Théorème de Schwarz	3

2. DIFFÉRENTIELLES

2.1 Fonction d'une seule variable	4
2.2 Fonction de plusieurs variables	5
2.3 Intégration	5

3. FORMES DIFFÉRENTIELLES

3.1 Définition	6
3.2 Théorème de Poincaré	7

4. APPLICATIONS ☉

4.1 Fonctions implicites ☉	8
4.2 Calculs intégraux ☉	9

LES SYSTÈMES DE COORDONNÉES

1. COORDONNÉES CARTÉSIENNES

1.1 Définition	11
1.2 Déplacement, volume et surfaces élémentaires	11

2. COORDONNÉES CYLINDRIQUES

2.1 Définition	12
2.2 Déplacement, volume et surfaces élémentaires	13

3. COORDONNÉES SPHÉRIQUES

3.1 Définition	14
3.2 Déplacement, volume et surfaces élémentaires	15

ANALYSE DE FOURIER

1. SÉRIE DE FOURIER

1.1 Théorème pour une fonction f à valeurs réelles	17
1.2 Théorème de Parseval	22
1.3 Théorème pour les fonctions f à valeurs complexes (complément hors-programme)	22

2. TRANSFORMÉE DE FOURIER

2.1 Théorème	23
2.2 Démonstration (complément hors-programme)	24
2.3 Propriétés	24
2.4 Théorème de Parseval-Plancherel (hors-programme) et conséquences	25
2.5 Exemples	28
2.6 Distribution de Dirac δ	29
2.7 Réponse d'un système linéaire à une entrée quelconque ☉	31

CHAMPS ET OPÉRATEURS DIFFÉRENTIELS

1. DÉFINITIONS ET OPÉRATIONS DE BASE

1.1 Définitions	33
1.2 Lignes, tubes et cartes de champ pour un champ de vecteur	34
1.3 Opérations de base sur les vecteurs	35
1.4 Circulation d'un champ de vecteur	36
1.5 Flux d'un champ de vecteur	37

2. LES OPÉRATEURS DIFFÉRENTIELS LINÉAIRES

2.1 Gradient	38
--------------	----

2.2 Rotationnel	39
2.3 Divergence	42
2.4 Laplacien scalaire	45
2.5 Laplacien vectoriel	46
2.6 Formules utiles	47
2.7 Théorème de Helmholtz (complément hors-programme)	48

3. CHAMPS PARTICULIERS

3.1 Champ à circulation conservative	48
3.2 Champ à flux conservatif	51

4. BILAN LOCAL D'UNE GRANDEUR EXTENSIVE x

4.1 Bilan global	53
4.2 Grandeur reçue	54
4.3 Grandeur produite	55
4.4 Bilan local	56

GRANDEURS PHYSIQUES : DIMENSIONS ET UNITÉS

1. UNITÉS ET SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI)

1.1 Grandeur mesurable / Unités	57
1.2 Choix des unités / Système international (SI)	57

2. DIMENSIONS

2.1 Homogénéité	59
2.2 Équation aux dimensions	60
2.3 Intérêt de l'adimensionnalisation / Facteur d'échelle ☉	63
2.4 Simplification des équations par comparaison des ordres de grandeur	68

□ DEUXIÈME PARTIE : ÉLECTRONIQUE

PRODUCTION, ACQUISITION ET TRAITEMENT D'UN SIGNAL ÉLECTRIQUE

1. NOTIONS SUR L'AMPLIFICATEUR LINÉAIRE INTÉGRÉ (A.L.I.)

1.1 Présentation	73
1.2 Principaux défauts linéaires et non linéaires	74
1.3 A.L.I idéal	75
1.4 Stabilité des montages à A.L.I	76
1.5 Montages linéaires à A.L.I supposé idéal	76
1.6 Montages non linéaires à A.L.I supposé idéal	78

2. EXEMPLE DE PRODUCTION D'UN SIGNAL ÉLECTRIQUE : OSCILLATEUR QUASI-SINUSOÏDAL

2.1 Exemple fondamental : oscillateur à pont de Wien	81
2.2 Équations du système	81
2.3 Démarrage des oscillations	83
2.4 Simulations / Conditions d'oscillations quasi-sinusoidales	84
2.5 Entretien des oscillations	85

3. ACQUISITION : ÉCHANTILLONNAGE ET QUANTIFICATION

3.1 Principe de la numérisation	86
3.2 Théorème de Shannon	87
3.3 Repliement de spectre	88
3.4 Filtre anti-repliement	90
3.5 Quantification : codage binaire	90
3.6 Analyse spectrale numérique	91

4. EXEMPLE DE TRAITEMENT : DÉTECTION SYNCHRONE

4.1 Multiplieur	94
4.2 Détection synchrone d'un signal sinusoïdal	95
4.3 Application à la démodulation d'amplitude	96

5. FILTRAGE ANALOGIQUE ET NUMÉRIQUE

5.1 Réponse à un signal T -périodique	100
5.2 Filtrage analogique	101
5.3 Filtrés actifs / passifs et cascades de filtres	103
5.4 Filtrage numérique : exemple du filtrage passe-bas du premier ordre	105

☐ TROISIÈME PARTIE : OPTIQUE

MODÈLE SCALAIRE DES ONDES LUMINEUSES

1. PROPAGATION DES ONDES LUMINEUSES

1.1 O.P.P.H scalaires	109
1.2 La lumière, onde électromagnétique	110
1.3 Théorie scalaire de Fresnel	111
1.4 Chemin optique	111
1.5 Théorème de Malus	114

2. ÉMISSION / RÉCEPTION DES ONDES LUMINEUSES

2.1 Émission de la lumière / Longueur de cohérence	116
2.2 Réception par un capteur / Domaine de l'optique	119

INTERFÉRENCES LUMINEUSES

1. SUPERPOSITION DE DEUX ONDES LUMINEUSES

1.1 Somme de deux ondes scalaires harmoniques	121
1.2 Somme de deux ondes scalaires harmoniques lumineuses	122
1.3 Notation complexe / Diagramme de Fresnel	126
1.4 Ordre d'interférence	128
1.5 Franges d'interférence	130

2. COHÉRENCE SPATIALE / LOCALISATION DES FRANGES

2.1 Théorème de localisation (complément hors-programme)	131
2.2 Résultats à connaître sur la localisation	134

INTERFÉRENCES PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE

1. DIFFRACTION DES ONDES LUMINEUSES

1.1 Diffraction à l'infini d'une onde plane par un trou circulaire	135
1.2 Application à la formation des images optiques	137
1.3 Diffraction à l'infini d'une onde plane par une fente fine	139

2. TROUS D'YOUNG / FENTES D'YOUNG

2.1 Nature des franges / Interfrange	141
2.2 Élargissement de la source	144
2.3 Fentes d'Young	147
2.4 Montages pour l'étude expérimentale des trous ou des fentes d'Young	149
2.5 Interposition d'une lame à faces parallèles ☉	151
2.6 Mesure de l'indice de réfraction de l'air ☉	152

3. AUTRES EXEMPLES DE DIVISION DU FRONT D'ONDE ☉

3.1 Miroir de Lloyd ☉	153
3.2 Vélocimétrie laser à franges / Biprisme de Fresnel ☉	155

INTERFÉRENCES PAR DIVISION D'AMPLITUDE : INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON

1. PRÉSENTATION / INTÉRÊT

1.1 Description de l'interféromètre	159
1.2 Montage équivalent	161
1.3 Montage en coin d'air et en lame d'air (à faces parallèles)	163

2. INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON EN COIN D'AIR

2.1 Localisation, différence de marche et interfrange	164
2.2 Montage expérimental	165
2.3 Mesure de l'indice de réfraction d'un gaz ☉	166

3. INTERFÉROMÈTRE DE MICHELSON EN LAME D'AIR

3.1 Localisation	167
3.2 Différence de marche	168
3.3 Rayon des anneaux	170
3.4 Montage expérimental	171

INTERFÉRENCES À N ONDES

1. INTERFÉRENCES À N ONDES PAR DIVISION DU FRONT D'ONDE : RÉSEAUX OPTIQUES

1.1 Superposition de N ondes cohérentes de même amplitude dont les phases sont en progression arithmétique	173
1.2 Exemple : réseau de N trous alignés équidistants	175
1.3 Réseau d'amplitude par transmission	177
1.4 Réseau échelle ☉	182

2. INTERFÉRENCES À N ONDES PAR DIVISION D'AMPLITUDE : INTERFÉROMÈTRE DE FABRY-PÉROT ☉

2.1 Description de l'interféromètre de Fabry-Pérot	184
2.2 Différence de marche et franges d'interférence	185
2.3 Intensité en fonction du déphasage	186
2.4 Rayon des anneaux	188

INTERFÉRENCES EN LUMIÈRE POLYCHROMATIQUE

1. BATTEMENTS OPTIQUES

1.1 Interférences avec un doublet de longueurs d'onde très proches	189
1.2 Interféromètre de Michelson en lame d'air avec le doublet jaune du sodium ☉	191

2. INTERFÉRENCES AVEC UNE SOURCE DE LUMIÈRE BLANCHE

2.1 Figures d'interférences en lumière blanche	192
2.2 Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre ☉	195

3. SPECTROSCOPIE / POUVOIR DE RÉOLUTION

3.1 Intérêt de la spectroscopie	195
3.2 Spectroscopie avec un réseau de fentes	196
3.3 Spectroscopie avec un interféromètre de Fabry-Pérot	200
3.4 Spectroscopie par transformée de Fourier	202

☐ **QUATRIÈME PARTIE :**
ÉLECTROMAGNÉTISME

LES ÉQUATIONS DE MAXWELL**1. CHARGE ET COURANT ÉLECTRIQUES**

1.1 Charge	207
1.2 Courant	208
1.3 Conservation de la charge à 1D	210
1.4 Conservation de la charge à 3D	211

2. ÉQUATIONS DE MAXWELL / PREMIÈRES PROPRIÉTÉS

2.1 Les équations	211
2.2 Les différents régimes étudiés	212
2.3 Linéarité des équations de Maxwell	213
2.4 Courant de déplacement et conservation de la charge	214

3. CONDUCTION ÉLECTRIQUE EN RÉGIME STATIONNAIRE DANS UN CONDUCTEUR OHMIQUE

3.1 Conservation de I le long d'un tube de courant en régime stationnaire	215
3.2 Conducteur ohmique	215
3.3 Le modèle de Drude	216
3.4 Résistance d'un conducteur ohmique filiforme / Loi d'Ohm	220
3.5 Effet thermique du courant électrique : loi de Joule locale	221

4. FORCE DE LAPLACE SUR UN CONDUCTEUR / EFFET HALL

4.1 Force de Laplace volumique	222
4.2 Force de Laplace sur un conducteur filiforme	224
4.3 Effet Hall	224

5. THÉORÈME DE POYNTING, ÉNERGIE ET PUISSANCE ÉLECTROMAGNÉTIQUES

5.1 Localisation de l'énergie dans le champ électromagnétique	226
5.2 Interaction entre le champ électromagnétique et la matière : force de Lorentz	227
5.3 Puissance cédée par le champ électromagnétique aux porteurs de charge	227
5.4 Théorème de Poynting	228

ÉLECTROSTATIQUE**1. PROPRIÉTÉS DU CHAMP ÉLECTROSTATIQUE**

1.1 Équations locales / Potentiel électrique	229
1.2 Équations intégrales / Théorème de Gauss	229
1.3 Unités et ordres de grandeur	230
1.4 Calcul du champ électrique et du potentiel électrique créés par des distributions de charges fixes	231
1.5 Continuité / discontinuité des champs	233
1.6 Caractère polaire du champ électrique	233
1.7 Symétries	233
1.8 Énergie d'une distribution de charges	236

2. CALCULS DE CHAMP**ÉLECTROSTATIQUE AVEC LE THÉORÈME DE GAUSS**

2.1 Méthode	237
2.2 Sphère chargée uniformément ⊙	238
2.3 Boule chargée uniformément	239
2.4 Application au calcul de l'énergie de constitution d'un noyau atomique	240
2.5 Cylindre infini à section circulaire chargé uniformément en volume ⊙	241

3. CONDENSATEUR PLAN / CAPACITÉ

3.1 Champ électrostatique créé par un plan infini chargé uniformément	242
3.2 Condensateur plan	244
3.3 Énergie emmagasinée	246

4. LE DIPÔLE ÉLECTROSTATIQUE

4.1 Définition / Moment dipolaire électrique	247
4.2 Champ électrique créé	248
4.3 Actions subies par un dipôle électrostatique	250
4.4 Applications du dipôle électrostatique	251
4.5 Topologie du champ électrostatique	254

5. ANALOGIES AVEC LA GRAVITATION

5.1 Théorème de Gauss « gravitationnel »	255
5.2 Champ de gravitation d'un astre sphérique homogène ⊙	256
5.3 Énergie gravitationnelle d'un astre sphérique homogène ⊙	257

MAGNÉTOSTATIQUE**1. PROPRIÉTÉS DU CHAMP MAGNÉTOSTATIQUE**

1.1 Équations locales	259
1.2 Équations intégrales / Théorème d'Ampère	259
1.3 Unités et ordres de grandeur	260
1.4 Calcul du champ magnétique créé par des distributions de courants stationnaires (complément hors-programme)	260
1.5 Continuité / discontinuité du champ magnétique	261
1.6 Caractère axial du champ magnétique	261
1.7 Symétries	262
1.8 Énergie d'une distribution de courants	265

2. CALCULS DE CHAMP**MAGNÉTOSTATIQUE AVEC LE THÉORÈME D'AMPÈRE**

2.1 Méthode	265
2.2 Bobine torique ⊙	266
2.3 Solénoïde ⊙	268
2.4 Solénoïde à section circulaire	268
2.5 Câble rectiligne infini / Fil rectiligne infini	270

3. LE DIPÔLE MAGNÉTIQUE

3.1 Définition / Moment magnétique	271
3.2 Champ magnétique créé	272
3.3 Actions subies par un dipôle magnétique	273
3.4 Magnéton de Bohr	276
3.5 Expérience de Stern et Gerlach / Moment magnétique de spin	277
3.6 Topologie du champ magnétique stationnaire	280

4. INDUCTANCE D'UN CIRCUIT

4.1 Inductance propre	282
4.2 Inductance mutuelle	284
4.3 Énergie magnétique d'un ensemble de circuits	286

5. COMPARAISON DES CHAMPS ÉLECTROSTATIQUE ET MAGNÉTOSTATIQUE

5.1 Sources du champ / Action du champ sur une particule chargée	288
5.2 Équations locales	288
5.3 Circulation	288
5.4 Flux	288
5.5 Continuité / discontinuité des champs	288
5.6 Caractère polaire ou axial	288
5.7 Symétrie / antisymétrie plane	289
5.8 Invariance des distributions	289
5.9 Énergie de D	289
5.10 Distributions monopolaires / dipolaires	289

ÉLECTROMAGNÉTISME DANS L'A.R.Q.S

1. INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS L'A.R.Q.S	
1.1 A.R.Q.S magnétique dans le vide	291
1.2 Étude d'un solénoïde dans l'A.R.Q.S magnétique ☉	293
1.3 A.R.Q.S magnétique dans un conducteur / Effet de peau	295
1.4 A.R.Q.S électrique dans le vide (complément hors-programme)	296
2. F.E.M ET LOIS EXPÉRIMENTALES DE L'INDUCTION DANS L'A.R.Q.S MAGNÉTIQUE	
2.1 Force électromotrice	300
2.2 Lois expérimentales de l'induction	302
3. INDUCTION DE NEUMANN ET APPLICATIONS	
3.1 Démonstration de la loi de Faraday	304
3.2 Chauffage par induction dans un conducteur cylindrique	304
3.3 Conducteur cylindrique semi-infini / Épaisseur de peau ☉	308
4. INDUCTION DE LORENTZ ET APPLICATIONS	
4.1 Exemple fondamental des rails de Laplace	311
4.2 Le haut-parleur électrodynamique ☉	314
5. ÉLECTRODYNAMIQUE DANS L'A.R.Q.S	
5.1 Dipôles dans l'A.R.Q.S	317
5.2 Couplage par inductance mutuelle ☉	320

☐ **CINQUIÈME PARTIE : MÉCANIQUE****RÉVISIONS ET COMPLÉMENTS :
MOUVEMENT D'UN SOLIDE**

1. THÉORÈMES GÉNÉRAUX POUR LES SYSTÈMES DE POINTS MATÉRIELS	
1.1 Théorème de la quantité de mouvement / Théorème du centre d'inertie	325
1.2 Théorème du moment cinétique	326
1.3 Théorème de l'énergie cinétique	327
1.4 Cas d'un solide Σ en translation	328
2. SOLIDE EN ROTATION AUTOUR D'UN AXE FIXE	
2.1 Théorème du moment cinétique	329
2.2 Théorème de l'énergie cinétique	332
2.3 Liaison pivot, couple et analogies avec le solide en translation	333
2.4 Pendule pesant ☉	334
2.5 Pendule de torsion	338
2.6 Pendules couplés par torsion	339
2.7 Modes propres des oscillations de trois disques couplés par torsion	343

**DYNAMIQUE DANS UN RÉFÉRENTIEL
NON GALILÉEN**

1. CHANGEMENT DE RÉFÉRENTIEL	
1.1 Repère et référentiel	345
1.2 Vecteur rotation instantané	346
1.3 Mouvement de translation	347
1.4 Mouvement de rotation autour d'un axe fixe	349
1.5 Changement quelconque de référentiel	352
2. DYNAMIQUE DANS UN RÉFÉRENTIEL NON GALILÉEN	
2.1 Ensemble des référentiels galiléens	353
2.2 Principe fondamental et forces d'inertie	353

2.3 Théorème du moment cinétique et théorème de l'énergie cinétique dans un référentiel non galiléen	354
--	-----

3. DYNAMIQUE DANS UN RÉFÉRENTIEL EN MOUVEMENT PAR RAPPORT AU RÉFÉRENTIEL TERRESTRE \mathcal{R}_t SUPPOSÉ GALILÉEN

3.1 Force d'inertie de Coriolis dans un manège	356
3.2 Mouvement d'un anneau sur un cerceau en rotation	358
3.3 Impesanteur / Effet de marée	359

4. DYNAMIQUE DANS LE RÉFÉRENTIEL TERRESTRE \mathcal{R}_t EN MOUVEMENT PAR RAPPORT AU RÉFÉRENTIEL GÉOCENTRIQUE \mathcal{R}_g SUPPOSÉ GALILÉEN

4.1 Étude du champ de pesantier terrestre	362
4.2 Déviation vers l'est d'un corps lâché sans vitesse initiale	365
4.3 Vents géostrophiques	366
4.4 Pendule de Foucault	369

5. LES MARÉES

5.1 Champ de pesantier, terme de marée	373
5.2 Terme de marée dû à la Lune	374
5.3 Influence du Soleil	379

STATIQUE DES FLUIDES**1. ACTIONS DE PRESSION DANS UN FLUIDE**

1.1 Définition d'un fluide	381
1.2 Évaluation du libre parcours moyen dans un fluide	382
1.3 Particule fluide, échelle mésoscopique	383
1.4 Pression dans un fluide	384
1.5 Résultante des actions de pression / Équivalent volumique	386

2. RELATION FONDAMENTALE DE LA STATIQUE DES FLUIDES ET APPLICATIONS

2.1 Actions sur une particule fluide	387
2.2 Relation fondamentale de la statique (R.F.S)	388
2.3 Fluide incompressible au repos dans le champ de pesantier	388
2.4 Fluide compressible au repos dans le champ de pesantier	391
2.5 Fluide incompressible au repos dans un référentiel non galiléen	392
2.6 Poussée d'Archimède	394

**DESCRIPTION D'UN FLUIDE EN
MOUVEMENT****1. CHAMP DE VITESSE D'UN FLUIDE**

1.1 Description eulérienne	397
1.2 Description lagrangienne	398
1.3 Passage de la description eulérienne à la description lagrangienne	399
1.4 Champ de vitesse au voisinage d'un point (complément hors-programme)	402
1.5 Écoulement irrotationnel / tourbillonnaire	404

2. CONSERVATION DE LA MASSE

2.1 Vecteur densité volumique de courants de masse / Débits massique et volumique	404
2.2 Conservation de la masse à 1D	406
2.3 Conservation de la masse à 3D	406
2.4 Écoulement stationnaire	407
2.5 Écoulement incompressible	407

3. EXEMPLES D'ÉCOULEMENTS ☉	
3.1 Écoulement parallèle cisailé entre deux plaques ☉	409
3.2 Analogie électromagnétique / Exemple du vortex ☉	412
4. LES TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES D'ÉTUDE D'UN ÉCOULEMENT ☉ 415	
DYNAMIQUE DES FLUIDES	
1. ACTIONS DE CONTACT SUR UN FLUIDE	
1.1 Contraintes tangentielles / Viscosité	417
1.2 Conditions aux limites pour un écoulement réel	419
1.3 Interprétation microscopique de la viscosité pour les gaz	420
1.4 Équivalent volumique des actions visqueuses pour un écoulement incompressible	421
1.5 Loi de pression dans une direction orthogonale à un écoulement parallèle	422
2. ÉQUATION DE NAVIER-STOKES / NOMBRE DE REYNOLDS	
2.1 Types d'écoulement et dimensions caractéristiques	423
2.2 Les deux modes de transfert de quantité de mouvement	424
2.3 Définition du nombre de Reynolds et signification	425
2.4 Équation de Navier-Stokes pour un écoulement incompressible	425
3. ÉCOULEMENT EXTERNE STATIONNAIRE INCOMPRESSIBLE AUTOUR D'UN OBSTACLE	
3.1 Couche limite	427
3.2 Traînée / Portance	429
3.3 Écoulement autour d'une sphère	432
3.4 Écoulement autour d'autres corps	438
3.5 Écoulement autour d'une aile d'avion / Portance	439
3.6 Décollage et commande d'un avion / Finesse et polaire d'Eiffel ☉	440
4. ÉCOULEMENT INTERNE STATIONNAIRE INCOMPRESSIBLE DANS UNE CONDUITE CIRCULAIRE	
4.1 Les différents régimes	444
4.2 Écoulement laminaire / Loi de Poiseuille	445
4.3 Complément : régime quelconque, diagramme de Moody	451
ÉCOULEMENTS PARFAITS	
1. MODÈLE DU FLUIDE PARFAIT / THÉORÈME DE BERNOULLI ET APPLICATIONS	
1.1 Modèle de fluide parfait	455
1.2 Équation d'Euler	455
1.3 Théorème de Bernoulli	456
1.4 Nombre de Mach et écoulement incompressible	458
1.5 Écoulement quasi-parallèle / Effet Venturi et applications	458
1.6 Tube de Pitot ☉	461
1.7 Formule de Torricelli ☉	462
1.8 Régimes d'un cours d'eau / Nombre de Froude ☉	463
2. FLUIDE PARFAIT ET PORTANCE ☉	
2.1 Écoulement parfait autour d'un cylindre circulaire en rotation ☉	466

2.2 Écoulement parfait autour d'une aile d'avion ☉	472
--	-----

BILANS MACROSCOPIQUES

1. BILAN D'UNE GRANDEUR EXTENSIVE x	
1.1 Description eulérienne / lagrangienne	475
1.2 Cas des écoulements stationnaires unidimensionnels	477
2. TUYÈRES ET FUSÉES ☉	
2.1 Principe	479
2.2 Géométrie de la tuyère	479
2.3 Vitesse d'éjection	481
2.4 Force de poussée sur la fusée	482
3. TURBORÉACTEUR ☉	
3.1 Description	483
3.2 Pression de l'atmosphère standard internationale	485
3.3 Détermination des autres inconnues	485
3.4 Poussée d'un réacteur et rendement	487
3.5 Finesse de l'avion	488
4. TURBINE PELTON ☉	
4.1 Action d'un jet sur un auget en translation rectiligne uniforme	488
4.2 Bilans d'énergie et de moment cinétique sur la roue Pelton	491
4.3 Barrage et récupération d'énergie hydraulique	493
5. ÉOLIENNE ☉	
5.1 Principe	495
5.2 Efficacité maximale de Betz	496
☐ SIXIÈME PARTIE :	
THEMODYNAMIQUE	
RÉVISIONS ET COMPLÈMENTS : LES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE	
1. SYSTÈME THERMODYNAMIQUE	
1.1 État d'un système macroscopique	501
1.2 Bilan différentiel d'une grandeur extensive	502
1.3 Transformations réversibles / irréversibles	502
1.4 Réversibilité / irréversibilité en Physique	505
2. LE PREMIER PRINCIPE POUR UN SYSTÈME FERMÉ	
2.1 Grandeurs énergétiques	507
2.2 Échanges énergétiques / Premier principe	508
2.3 Travail des forces de pression sur un système	510
3. LE SECOND PRINCIPE POUR UN SYSTÈME FERMÉ	
3.1 Énoncé du second principe	511
3.2 Interprétation statistique de l'entropie	512
3.3 Calcul de variations d'entropie	512
4. PROPRIÉTÉS DES CORPS PURS	
4.1 Coefficients thermoélastiques	513
4.2 Coefficients calorimétriques	514
4.3 Gaz parfait (G.P)	515
4.4 Phase condensée	517
5. TRANSFORMATIONS D'UN FLUIDE	
5.1 Transformations réversibles	517
5.2 Transformations particulières, applications aux gaz parfaits	518
6. TRANSITIONS DE PHASE DU CORPS PUR	
6.1 Diagramme d'équilibre (p, T)	521
6.2 Grandeurs massiques de transition de phase	523
6.3 Étude de l'équilibre liquide-vapeur	524

7. LOI DE BOLTZMANN / THÉORIE CINÉTIQUE DES GAZ

7.1 Loi de Boltzmann	529
7.2 Modèle du gaz parfait	530
7.3 Distribution des vitesses pour un gaz parfait (complément hors programme)	530
7.4 Pression cinétique	531
7.5 Résultats de la théorie cinétique des gaz	532

8. INTERPRÉTATION STATISTIQUE DE L'ENTROPIE (complément hors-programme)

8.1 Exemple fondamental	533
8.2 Entropie statistique et information	534
8.3 Définition de l'entropie thermodynamique	535

SYSTÈMES OUVERTS EN RÉGIME STATIONNAIRE**1. BILANS D'ÉNERGIE ET D'ENTROPIE**

1.1 Premier principe pour un écoulement stationnaire 1D	537
1.2 Bilan d'énergie mécanique pour un écoulement stationnaire 1D	539
1.3 Second principe pour un écoulement stationnaire 1D	541

2. MACHINES THERMIQUES

2.1 Machines thermiques dithermes, cycle de Carnot	542
2.2 Cas des pseudo-sources	546
2.3 Installation frigorifique ©	548
2.4 Circuit secondaire d'une centrale REP ©	550

DIFFUSION DE PARTICULES**1. FLUX DE PARTICULES**

1.1 Système hors équilibre	555
1.2 Densité volumique de courants de particules	556
1.3 Diffusion / Loi de Fick	557
1.4 Approche microscopique de la diffusion / Marche au hasard	558
1.5 Convection	562

2. ÉQUATION DE LA DIFFUSION DE PARTICULES

2.1 Diffusion avec production	562
2.2 Propriétés de la diffusion	563

3. RÉOLUTION DE L'ÉQUATION DE DIFFUSION ET APPLICATIONS

3.1 Conditions aux limites	564
3.2 Les différents régimes	565
3.3 Influence de la gravité pour les fluides en régime stationnaire ©	566
3.4 A.R.Q.S : durée d'évaporation de l'éther ©	569
3.5 Régime transitoire : réacteur nucléaire ©	570
3.6 Diffusion d'un pic de concentration (complément hors-programme)	573

DIFFUSION THERMIQUE**1. FLUX THERMIQUES**

1.1 Système hors équilibre	575
1.2 Densité volumique de courants thermiques	575
1.3 Conduction (ou diffusion) thermique / Loi de Fourier	576
1.4 Convection	579

2. ÉQUATION DE LA DIFFUSION THERMIQUE (ÉQUATION DE LA CHALEUR)

2.1 Diffusion pure à 1D	581
2.2 Diffusion pure à 3D	582
2.3 Propriétés de la diffusion thermique	583

3. RÉOLUTION DE L'ÉQUATION DE LA CHALEUR

3.1 Conditions aux limites	585
3.2 Les différents régimes	586
3.3 Régime stationnaire / Résistance thermique	587
3.4 A.R.Q.S ©	591
3.5 Ondes thermiques ©	594
3.6 Régime transitoire / Utilisation des séries de Fourier ©	595

4. DÉTERMINATION DU CHAMP DE TEMPÉRATURE DANS D'AUTRES SITUATIONS

4.1 Autres causes de variation d'énergie interne	598
4.2 Convection pour un système 1D ©	601

5. ANALOGIES ENTRE PHÉNOMÈNES DIFFUSIFS

5.1 Analogies en régime stationnaire	603
5.2 Analogies entre phénomènes 1D	604

RAYONNEMENT THERMIQUE**1. RAYONNEMENT D'ÉQUILIBRE**

1.1 Flux surfacique spectral	607
1.2 Densité volumique spectrale d'énergie électromagnétique	608
1.3 Loi de Planck	610

2. CORPS NOIR

2.1 Le modèle du corps noir à l'équilibre thermodynamique	612
2.2 Conditions d'application du modèle	613
2.3 Flux solaire	613
2.4 Effet de serre ©	615
2.5 Rayonnement du fond diffus cosmologique	618

SEPTIÈME PARTIE : PHYSIQUE DES ONDES**PHÉNOMÈNES DE PROPAGATION NON DISPERSIFS : ÉQUATION DE D'ALEMBERT****1. PROPAGATION NON DISPERSIVE LE LONG D'UNE CORDE / L'ÉQUATION DE D'ALEMBERT**

1.1 Exemple fondamental de la corde vibrante, équation de d'Alembert 1D	621
1.2 L'équation de d'Alembert 3D, premières propriétés	623
1.3 Solutions d'onde plane de l'équation de D'Alembert	623

2. ONDES PLANES PROGRESSIVES HARMONIQUES (O.P.P.H)

2.1 Décomposition d'une O.P.P quelconque	626
2.2 Notation complexe	627

3. ONDES PLANES STATIONNAIRES

3.1 Définition / Obtention	627
3.2 Nœuds et ventres de vibration	629
3.3 Modes propres de vibration	630
3.4 Somme d'ondes stationnaires vérifiant des conditions initiales	631
3.5 Application à la corde de guitare ©	633
3.6 Régime sinusoïdal forcé / Corde de Melde	635
3.7 Autre exemple de C.A.L : corde lestée en son milieu ©	637

4. PROPAGATION NON DISPERSIVE LE LONG D'UN CÂBLE COAXIAL

4.1 Le câble coaxial	639
4.2 Équations de couplage et équation d'onde	640

Table des matières

4.3 Impédance caractéristique du câble	640	2.2 Modification de la polarisation	694
4.4 Réflexion en bout de ligne, cas d'une charge résistive	641	2.3 Analyse de la polarisation d'une onde lumineuse	699
4.5 Coefficient de réflexion en puissance pour le câble coaxial avec une charge linéaire quelconque ☉	644	2.4 Applications de la polarisation	700
5. PROPAGATION NON DISPERSIVE LE LONG D'UNE CHAÎNE D'OSCILLATEURS ☉		2.5 Notation complexe	701
5.1 Équations de couplage	646	2.6 Interférences et polarisation	703
5.2 Approximation des milieux continus, équation de d'Alembert	647	3. RÉFLEXION NORMALE D'UNE O.P.P.H SUR UN CONDUCTEUR PARFAIT	
5.3 Application : ondes sonores dans les solides	647	3.1 Conditions aux limites imposées par la présence d'un conducteur parfait	707
6. ANALOGIES ENTRE LES PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES / ASPECT ÉNERGÉTIQUE		3.2 Onde réfléchie / Onde résultante	709
6.1 Corde vibrante ☉	649	3.3 Aspect énergétique / Bilan photonique et pression de radiation	710
6.2 Câble coaxial ☉	651	4. RÉFLEXION OBLIQUE, CÂBLE COAXIAL, CAVITÉ PARALLÉLÉPIPÉDIQUE ☉	
6.3 Chaîne d'oscillateurs ☉	652	4.1 Intérences à deux ondes par réflexion oblique sur un miroir ☉	712
6.4 Analogies entre phénomènes ondulatoires non dispersifs	652	4.2 Mode de propagation non dispersif dans un câble coaxial ☉	716
6.5 Non-linéarité des grandeurs énergétiques	653	4.3 Cavité parallélépipédique, four à micro-ondes ☉	717
7. PROPAGATION NON DISPERSIVE À LA SURFACE D'UNE MEMBRANE CIRCULAIRE ☉		DISPERSION ET ATTÉNUATION / O.P.P.H ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LES PLASMAS ET LES CONDUCTEURS	
7.1 Équation d'onde	654	1. PROPAGATION DISPERSIVE LE LONG D'UNE CORDE / DISPERSION / ATTÉNUATION	
7.2 Ondes stationnaires	655	1.1 Exemple de la corde vibrante amortie	721
ONDES ACOUSTIQUES DANS LES FLUIDES		1.2 Recherche de solutions d'O.P.P.H	722
1. ÉQUATION DE PROPAGATION		1.3 Amortissement temporel ☉	725
1.1 Modèle étudié	659	1.4 Cas des O.P.P.H électromagnétiques	726
1.2 Linéarisation	660	1.5 Vitesse de phase	727
1.3 Équation de d'Alembert	661	1.6 Vitesse de groupe	729
1.4. Calcul de c	662	1.7 Aspect énergétique	733
2. ASPECT ÉNERGÉTIQUE		1.8 Atténuation	733
2.1 Bilan d'énergie	663	2. O.P.P.H ÉLECTROMAGNÉTIQUE TRANSVERSALE DANS UN PLASMA PEU DENSE	
2.2 Intensité acoustique	665	2.1 Notions sur les plasmas	735
3. ONDES PLANES ACOUSTIQUES / TUYAUX SONORES		2.2 Modèle étudié	737
3.1 Équations de propagation	666	2.3 Dispersion	739
3.2 O.P.P. / Impédance acoustique	668	2.4 Aspect énergétique	743
3.3 Calcul numérique d'une perturbation acoustique pour une O.P.P.H dans l'air	669	2.5 Ondes de type hélicon ☉	745
3.4 Réflexion totale en bout de tuyau / Ondes stationnaires	670	3. O.P.P.H ÉLECTROMAGNÉTIQUE DANS UN CONDUCTEUR	
3.5 Modes propres	672	3.1 Modèle microscopique	747
3.6 Résonances	672	3.2 Dispersion	749
4. ONDES SPHÉRIQUES ACOUSTIQUES / EFFET DOPPLER		3.3 Aspect énergétique	751
4.1 Ondes sphériques	673	3.4 Conducteur parfait	752
4.2 Modes propres d'une cavité sphérique ☉	675	4. AUTRES EXEMPLES CLASSIQUES DE LA DISPERSION D'ONDES PLANES ☉	
4.3 Effet Doppler	677	4.1 Chaîne d'oscillateurs mécaniques ☉	752
5. ONDES DE GRAVITATION 1D DANS UN FLUIDE INCOMPRESSIBLE PEU PROFOND ☉		4.2 Câble coaxial avec pertes ☉	755
5.1 Équations de couplage	683	4.3 Pavillon acoustique exponentiel ☉	758
5.2 Vitesse des ondes de gravitation en eau peu profonde et applications	685	INTERFACES ENTRE DEUX MILIEUX	
ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LE VIDE		1. RÉFLEXION ET TRANSMISSION D'UNE ONDE MÉCANIQUE À LA JONCTION ENTRE DEUX CORDES ☉	
1. O.P.P. ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS LE VIDE		763	
1.1 Équations de Maxwell dans le vide	687	2. RÉFLEXION ET TRANSMISSION D'UNE ONDE ACOUSTIQUE À L'INTERFACE ENTRE DEUX MILIEUX	
1.2 Équation de d'Alembert	687	2.1 Onde en incidence normale sur l'interface entre deux fluides	
1.3 Structure des O.P.P. dans le vide	688	764	
1.4 Aspect énergétique	690		
2. O.P.P.H / POLARISATION			
2.1 Les différents états de polarisation	691		

2.2 Une application : la couche anti-reflet ☉	766
2.3 Isolation phonique ☉	769
3. RÉFLEXION ET TRANSMISSION D'UNE ONDE ÉLECTROMAGNÉTIQUE À L'INTERFACE ENTRE DEUX MILIEUX	
3.1 Onde en incidence normale sur l'interface entre deux milieux linéaires d'indices complexes	770
3.2 Onde en incidence normale sur l'interface entre le vide et un plasma	773
3.3 Onde en incidence normale sur l'interface entre le vide et un conducteur réel / Pression de radiation	774
3.4 Onde en incidence oblique sur l'interface entre deux milieux linéaires d'indices réels / Lois de Snell-Descartes ☉	776
3.5 Réflexion interne totale frustrée ☉	780

INTRODUCTION À LA PHYSIQUE DU LASER

1. PRINCIPE DU LASER : ÉMISSION STIMULÉE

1.1 Coefficients d'Einstein	783
1.2 Relations entre les coefficients d'Einstein	786
1.3 Bilan de puissance pour un système à deux niveaux soumis à une onde électromagnétique plane	786
1.4 Milieu amplificateur et pompage	788
1.5 Obtention d'un oscillateur	789

2. PROPRIÉTÉS OPTIQUES D'UN FAISCEAU SPATIALEMENT LIMITÉ

2.1 Faisceau gaussien	792
2.2 Transformation d'un faisceau gaussien par une lentille convergente	795
2.3 Élargisseur de faisceau	797
2.4 Mesure de la distance Terre-Lune ☉	798

RÉVISIONS ET COMPLÉMENTS : INTRODUCTION À LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

1. LA NAISSANCE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

1.1 Les insuffisances des théories classiques	801
1.2 La théorie de Planck du rayonnement du corps noir	801
1.3 Effet photoélectrique / Effet Compton et les quanta d'Einstein	802
1.4 Le spectre d'émission et d'absorption de l'atome d'hydrogène / Modèle de Bohr	805
1.5 L'hypothèse de de Broglie : dualité onde-corpuscule	807

2. FONCTION D'ONDE ET INÉGALITÉS DE HEISENBERG

2.1 La fonction d'onde et son interprétation probabiliste	810
2.2 Inégalités de Heisenberg	811
2.3 Expérience fondamentale des fentes d'Young	813
2.4 Conséquences des inégalités de Heisenberg	817

APPROCHE ONDULATOIRE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE

1. L'ÉQUATION DE SCHRÖDINGER / PAQUET D'ONDES

1.1 L'équation de Schrödinger	823
1.2 Paquet d'ondes libre / Évolution temporelle	825
1.3 Complément : paquet d'ondes dans un potentiel $V(x)$ quelconque	829
1.4 Courant de probabilité	830

2. SOLUTIONS STATIONNAIRES DE L'ÉQUATION DE SCHRÖDINGER

2.1 États stationnaires à une dimension	831
2.2 Combinaison linéaire de solutions stationnaires	832
2.3 Orbitales atomiques	833

3. ÉTATS STATIONNAIRES DANS UN POTENTIEL UNIFORME PAR MORCEAUX

3.1 Propriétés des solutions stationnaires pour une particule dans un potentiel uniforme par morceaux	835
3.2 Marche de potentiel	836
3.3 Puits de potentiel infini	840
3.4 Puits de potentiel fini	842

4. EFFET TUNNEL, COUPLAGE TUNNEL ENTRE DEUX PUIITS ET APPLICATIONS

4.1 Barrière de potentiel / Effet tunnel	848
4.2 Couplage tunnel entre deux puits de potentiel symétriques	854

ANNEXES

Classification périodique des éléments	861
Formulaire : les opérateurs différentiels	862
Les constantes physiques	864

INDEX

865

TABLE DES MATIÈRES

871

CAHIER COULEUR (pages centrales)

1. BATTEMENTS OPTIQUES

2. INTERFÉRENCES AVEC UNE SOURCE DE LUMIÈRE BLANCHE

3. SPECTROSCOPIE / POUVOIR DE RÉOLUTION

4. POLARISATION PAR RÉFLEXION VITREUSE ET PAR DIFFUSION

5. INTERFÉRENCES ET POLARISATION

6. RAYONNEMENT THERMIQUE / THERMOGRAPHIE