

**Physique dans le Supérieur :
mieux aborder et assimiler les
notions fondamentales.**

Cours et exercices corrigés

Jean-Robert Seigne

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage est destiné tout d'abord aux élèves de Terminale S qui souhaitent approfondir leurs connaissances en Sciences Physiques et à ceux d'entre eux qui ont déjà fait le choix de suivre un enseignement scientifique dans le Supérieur. Il propose des développements dans chacun des grands thèmes du programme. L'élève de Terminale S et l'étudiant de l'Enseignement Supérieur scientifique doivent être conscients du fait que des études plus avancées en Sciences Physiques s'effectueront nécessairement à l'aide d'un support mathématique. L'objectif principal de ce livre est de leur donner une idée de cette approche. J'espère qu'il leur permettra de s'adapter ainsi plus facilement à l'Enseignement Supérieur scientifique. Dans cet ouvrage, tout en étant présent, le support mathématique a été rendu le plus accessible possible. Toutefois, il serait vain de penser que ce qui est évoqué dans ce livre doit être immédiatement maîtrisé. Le temps nécessaire à la familiarisation avec les Sciences Physiques mathématisées est en quelque sorte incompressible. Ce n'est que progressivement que cette nouvelle approche de la Physique et de la Chimie sera comprise. Cet ouvrage constitue, à mes yeux, une porte d'entrée, une première sensibilisation qui présente sans détours les exigences de l'Enseignement Supérieur.

La présentation de ce livre sera sans doute perçue comme relativement austère comparativement aux livres de cours utilisés en classe de Terminale S. Cela ne correspond pas à une volonté délibérée, c'est seulement une conséquence du fait qu'il n'est pas nécessaire de recourir à de nombreux artifices pour étudier les Sciences Physiques. Les exercices relèvent de l'Enseignement Supérieur. Ils ne sont pas d'un abord facile et demandent un certain investissement. La rédaction détaillée de leur correction doit être utilisée avec intelligence.

Ce livre peut aussi intéresser les étudiants se destinant à l'enseignement. Ils pourront y trouver des ressources leur permettant d'envisager avec plus d'as-

surance un enseignement en classe de Terminale. Les professeurs de Terminale S peuvent aussi voir cet ouvrage comme une voie complémentaire à celle tracée par le programme et constater qu'il est possible d'envisager des développements accessibles visant à montrer aux élèves un aspect des Sciences Physiques qui ne leur est pas familier. Cette autre voie possible est celle où une mathématisation maîtrisée n'est pas vécue comme un handicap mais, au contraire, comme un atout pour la compréhension de nos Sciences. Je ne peux nier les difficultés que vont rencontrer ces élèves car l'apprentissage d'une science mathématisée demande, certes, des connaissances mais aussi de l'entraînement, de l'expérience et donc... du temps. On peut encore, en s'adressant à ceux qui en manifestent le plus les capacités et le désir, donner l'idée des démonstrations théoriques et faire découvrir le plaisir intellectuel de la résolution réussie ! Sans rejeter les évolutions pédagogiques actuelles comme celles basées sur les études documentaires, sur les démarches d'investigation, ou encore sur la résolution de problèmes comme on la pratique dans le cadre des Olympiades Internationales de Physique, nous pourrions continuer à promouvoir notre discipline en leur attribuant une place raisonnable à côté de ce qui est le cœur de notre métier à savoir l'enseignement classique, éprouvé et robuste des notions de base des Sciences Physiques.

Jean-Robert Seigne.

À Héloïse et Alexandre...

TABLE DES MATIÈRES

I	Mécanique	17
1	Notion de vitesse	19
1.1	Repérage dans l'espace	19
1.1.a	Sur une droite	19
1.1.b	Sur un plan	21
1.1.c	Repérage sur un plan, une autre approche	22
1.1.d	Lien entre les deux repérages	24
1.1.e	Représentation complexe	25
1.1.f	Les coordonnées GPS	28
1.2	Le vecteur : un outil intéressant	29
1.2.a	Champ scalaire, champ vectoriel	29
1.2.b	Vecteur déplacement	31
1.2.c	Vecteur position	33
1.2.d	Opérations sur les vecteurs	38
1.3	La vitesse	42
1.3.a	Vitesse moyenne	42
1.3.b	Valeur instantanée de la vitesse	47
1.3.c	Vitesse instantanée	47
1.3.d	Perception de la vitesse	48
1.4	Exercices	52
2	Vitesse : applications	59
2.1	Relativité	59
2.1.a	Approche du problème, référentiel	59
2.1.b	Représentation d'un événement	61
2.1.c	Relativité galiléenne	63

2.1.d	Relativité restreinte	64
2.1.e	Postulat relativiste	65
2.1.f	Durée propre - Dilatation des durées	67
2.1.g	Loi de composition relativiste des vitesses	68
2.1.h	Vitesse limite	69
2.1.i	Propagation de l'information, causalité	71
2.2	Propagation d'une onde	72
2.2.a	Invariant de propagation	72
2.2.b	Ondes sinusoïdales	74
2.2.c	Ondes sinusoïdales et information	76
2.3	Effet DOPPLER-FIZEAU	80
2.3.a	Effet longitudinal unique	80
2.3.b	Effet longitudinal double	81
2.3.c	Radar	83
2.3.d	Effet DOPPLER-FIZEAU relativiste	84
2.4	Exercices	86
3	Forces	93
3.1	Quantité de mouvement	93
3.1.a	Terminologie	93
3.1.b	Définition	94
3.1.c	Inertie, statut de la masse	94
3.1.d	Objets étendus	96
3.1.e	Centre d'inertie G	99
3.1.f	Ondes	102
3.1.g	Relativité et photon	104
3.2	Principes de la Mécanique	105
3.2.a	Principe d'inertie	106
3.2.b	Principe de force	106
3.2.c	Lois des actions réciproques	106
3.2.d	Référentiels galiléens	107
3.3	Référentiels non galiléens	108
3.3.a	Référentiels accélérés	108
3.3.b	Forces d'inertie	110
3.3.c	Référentiels galiléens par approximation	111
3.3.d	Poids d'un corps	114
3.4	Forces découlant d'une interaction	117
3.4.a	Force électrique	117
3.4.b	Force électromagnétique	118
3.4.c	Force exercée par un ressort	120
3.4.d	Contact entre deux objets	122

3.4.e	Forces de frottement fluide	125
3.5	Autres forces	125
3.6	Méthode d'étude en Mécanique	127
3.6.a	Préliminaires	127
3.6.b	Principe fondamental de la Dynamique	128
3.6.c	Accélération	130
4	Forces : applications	135
4.1	Objet soumis uniquement à son poids	135
4.1.a	Le problème physique	135
4.1.b	Résolution vectorielle	136
4.1.c	Résolution scalaire	140
4.2	Satellite soumis uniquement à la gravitation terrestre	141
4.2.a	Le problème physique	141
4.2.b	Mise en place de la résolution	142
4.2.c	Trajectoire circulaire	144
4.3	Les frottements solides, des freins au mouvement	145
4.3.a	Le problème physique	145
4.3.b	Résolution du problème	147
4.4	Les frottements fluides, des freins au mouvement	149
4.4.a	Le problème physique	149
4.4.b	Résolution du problème	150
4.4.c	Analyse des résultats	152
4.4.d	Chute à vitesse élevée	154
4.5	Les frottements propices au mouvement	155
4.5.a	Entraînement par frottement	155
4.5.b	Résolution du problème	157
4.5.c	Rien ne bouge	158
4.5.d	Le livre glisse mais pas la boîte	159
4.5.e	La boîte glisse	160
4.5.f	Les frottements sources de mouvement	161
4.5.g	Entraînement par frottement fluide	163
4.6	Un modèle d'oscillateur	164
4.6.a	Le problème physique	164
4.6.b	Résolution du problème	166
4.6.c	Discussion	168
4.6.d	Oscillateur forcé	172
4.7	Force magnétique	176
4.7.a	Le problème physique	176
4.7.b	Résolution du problème	180
4.7.c	Repère de FRENET	183

4.7.d	Seconde résolution	185
4.8	Forces agissant temporairement	185
4.8.a	Vitesse initiale	186
4.8.b	Rebond sur le sol	188
4.8.c	Réflexion en optique	191
4.8.d	Choc	192
4.9	Exercices	195
5	Moment de forces	203
5.1	Moment cinétique	203
5.1.a	Constatations	203
5.1.b	Définition du moment cinétique	205
5.1.c	Moment cinétique d'un objet étendu	206
5.1.d	Expression du moment cinétique d'un point	207
5.1.e	Expression du moment cinétique d'un système	208
5.1.f	Moment cinétique et particules élémentaires	210
5.2	Principe et lois	212
5.2.a	Complément au principe d'inertie	212
5.2.b	Loi des moments des forces pour un point	212
5.2.c	Complément à la loi des actions réciproques	213
5.2.d	Loi des moments des forces pour un système	214
5.2.e	Méthode	215
5.2.f	Point d'application d'une force	215
5.3	Applications	217
5.3.a	Équilibre et centre d'inertie	217
5.3.b	Centre de poussée	219
5.3.c	Gravitation	223
5.3.d	Action du moteur sur le DVD	227
5.3.e	Pendule pesant	230
5.4	Loi des moments des forces en G	234
5.4.a	Énoncé de la loi	234
5.4.b	Démonstration	234
5.4.c	Mise en rotation d'une roue	235
5.5	Exercices	238
II	Énergétique - Bilans	245
6	Bilans	247
6.1	Évolution d'une grandeur extensive	247
6.1.a	Extensif ou intensif	247

6.1.b	Bilan d'une grandeur extensive	250
6.2	Les principes de la Thermodynamique	252
6.2.a	Premier principe	252
6.2.b	Second principe	253
6.2.c	Bilans par unité de temps	254
6.3	Énergie en mécanique	256
6.3.a	Système réduit à un point	256
6.3.b	Énergie potentielle	256
6.3.c	Formes d'énergie potentielle	257
6.3.d	Énergie mécanique	260
6.3.e	Système de deux points	262
6.3.f	Lien avec la Thermodynamique	266
6.4	Notion de débit	272
6.4.a	Première approche : le débit volumique	272
6.4.b	Construction générale d'un débit	273
6.4.c	Bilan global	276
6.4.d	Bilan local	278
6.4.e	Régime indépendant du temps	280
6.4.f	Loi des nœuds	282
6.4.g	Inondations	283
6.5	Électricité	284
6.5.a	Bilan de charges	284
6.5.b	Intensité d'un courant électrique	286
6.5.c	Loi des nœuds	286
6.5.d	Générateurs de tension	287
6.5.e	Approximation des régimes quasi statiques	288
6.5.f	Composants linéaires	290
6.5.g	Le conducteur ohmique	291
6.5.h	Puissance en Électricité	294
6.5.i	Loi des mailles	297
6.6	Débits vectoriels	298
6.6.a	Quantité de mouvement	298
6.6.b	Moment cinétique	302
7	Les bases de l'Électricité	307
7.1	Régimes transitoires	307
7.1.a	Étude d'un circuit RC	307
7.1.b	Circuit RLC série	313
7.2	Régime sinusoïdal	317
7.2.a	Circuit RC	317
7.2.b	Circuit RLC série	320

7.2.c	Puissance	323
7.3	Filtrage	328
7.3.a	Filtre <i>RC</i> passe-bas	329
7.3.b	Diagramme de BODE	333
7.3.c	Un autre filtre passe-bas	335
7.3.d	Filtre passe-bande	336
7.3.e	Effet d'un filtre passe-bande	339
7.4	Analyse de FOURIER	340
7.4.a	Contexte	340
7.4.b	Synthèse de FOURIER	340
7.4.c	Série de FOURIER	343
7.4.d	Conclusion	345
7.5	Exercices	346
8	Bilans énergétiques - Chocs	355
8.1	Aspect historique	355
8.1.a	Énergie	355
8.1.b	Température	355
8.1.c	Conservation de l'énergie	356
8.1.d	Capacité thermique	356
8.2	Situations évolutives	360
8.2.a	Un chauffe-eau	360
8.2.b	Chauffage dans un four	363
8.3	Situations stationnaires	365
8.3.a	Climatisation d'un avion	366
8.3.b	Climatisation d'un train	368
8.4	Chocs en Mécanique classique	372
8.4.a	Lois générales	372
8.4.b	Situation 1D	374
8.4.c	Situation 2D	376
8.5	Chocs en Mécanique relativiste	377
8.5.a	Lois générales	377
8.5.b	Choc proton-proton	379
8.5.c	Effet COMPTON	381
8.6	Exercices	384
III	Bilans de matière	403
9	Bilan de réaction - Cinétique	405
9.1	Généralités	405

9.1.a	Rappel	405
9.1.b	Réacteur fermé, réacteur ouvert	406
9.2	Dosages par titrages	407
9.2.a	Suivi par conductimétrie	407
9.2.b	Suivi par pH-métrie	412
9.3	Cinétique	416
9.3.a	Généralités	416
9.3.b	Ordre 1	419
9.3.c	Ordre 2	420
9.4	Réacteur ouvert	425
9.4.a	Contexte	425
9.4.b	Évolution de $[A]$	426
9.4.c	Évolution de $[B]$	428
9.4.d	Conclusion	429
9.5	Exercices	430
IV Ondes - Optique		439
10 Ondes		441
10.1	Généralités	441
10.1.a	Rappel	441
10.1.b	Équation de D'ALEMBERT	442
10.1.c	Solutions	445
10.2	Câble coaxial	446
10.2.a	Modélisation	446
10.2.b	Équation de propagation	449
10.2.c	Solutions	450
10.3	Corde tendue	451
10.3.a	Contexte	451
10.3.b	Équation de propagation	452
10.4	Ondes stationnaires	455
10.4.a	Observation	455
10.4.b	Recherche générale des solutions	456
10.4.c	Retour sur la corde tendue	458
10.4.d	Timbre d'un instrument	462
10.5	Mécanique quantique	464
10.5.a	Aspect historique	464
10.5.b	Approche quantique	467
10.5.c	Application	469
10.6	Exercices	474

11	Optique	481
11.1	Optique géométrique	482
11.1.a	La lentille convergente	483
11.1.b	Relation de conjugaison	485
11.1.c	Foyers	488
11.1.d	Construction géométrique d'une image	489
11.1.e	Faisceau parallèle et lentille convergente	493
11.1.f	Lentille et chemin optique	494
11.2	Diffraction	496
11.2.a	Contexte	496
11.2.b	Principe de la diffraction	498
11.2.c	Amplitude diffractée	500
11.2.d	Intensité diffractée	504
11.2.e	Indicatrice d'intensité	510
11.2.f	Conclusion	511
11.3	Interférences	513
11.3.a	Contexte	513
11.3.b	Amplitude	515
11.3.c	Intensité	516
11.3.d	Franges circulaires	518
11.4	Diffraction et interférences	523
11.4.a	Contexte	523
11.4.b	Amplitude	523
11.4.c	Intensité	526
11.4.d	Réseau	527
11.5	Exercices	532
12	Spectroscopie	543
12.1	UV-Visible	544
12.1.a	Principe	544
12.1.b	Absorbance	548
12.1.c	Spectrophotomètres	551
12.2	IR	553
12.2.a	Principe	553
12.2.b	Oscillations libres d'une liaison	554
12.2.c	Problème à deux corps	559
12.2.d	Oscillations forcées	563
12.3	RMN	566
12.3.a	Moment magnétique	566
12.3.b	Rapport gyromagnétique	568
12.3.c	Effet d'un champ magnétique	569

12.3.d	Mouvement de précession	571
12.3.e	Déplacement chimique	576
12.3.f	Champ magnétique tournant	578
12.3.g	Changement de référentiel	579
12.3.h	Résonance magnétique	582
12.3.i	Relaxation	583
12.3.j	Signal RMN enregistré	586
V	Solutions des exercices	589
13	Correction des exercices	591
13.1	Exercices du chapitre 1	591
13.2	Exercices du chapitre 2	598
13.3	Exercices du chapitre 4	607
13.4	Exercices du chapitre 5	617
13.5	Exercices du chapitre 7	625
13.6	Exercices du chapitre 9	646
13.7	Exercices du chapitre 10	653
13.8	Exercices du chapitre 11	659
VI	Table des figures	669
VII	Bibliographie	681
VIII	Index	685