

H  
*Prépa*

NOUVEAU  
PROGRAMME

# EXERCICES & PROBLÈMES

## Physique

1<sup>re</sup> année  
MPSI-PCSI-PTSI

Collection dirigée par Jean-Marie Brébec

- ▶ Rappels de cours
- ▶ Plus de 300 exercices et problèmes
- ▶ Corrigés détaillés

530-27.1

 HACHETTE  
Supérieur

# A vant-propos

## Quel est l'objet de cet ouvrage ?

Nous avons élaboré cet ouvrage d'exercices de première aide de classes préparatoires aux grandes écoles avec deux objectifs principaux, l'assimilation du cours par la mise en pratique, et la préparation aux interrogations écrites et orales, pendant l'année et aux concours :

- Les rappels de cours complets permettent de voir rapidement les résultats importants à connaître pour toute préparation d'épreuves orale ou écrites, que ce soit une colle, ou un concours de première ou deuxième Année.
- Les exercices, choisis pour leur contenu, préparent à toutes ces épreuves.

## Comment travailler de manière optimale avec cet ouvrage ?

À la suite de l'énoncé, il existe une partie « conseils » ; les solutions sont présentées après l'ensemble des énoncés. Comment utiliser de manière optimale cette disposition ?

- Comme pour une épreuve d'écrit, il faut commencer par lire entièrement un énoncé ; pour résoudre une question donnée certaines informations peuvent être présentes dans les questions suivantes.

- Après une période de réflexion « correcte », fructueuse ou non, il est possible de lire la partie « conseils » ; cette partie peut se présenter ainsi :

- soit une idée de résolution est proposée ;
- soit une question est posée pour la mise en évidence d'un phénomène ;
- soit un théorème est énoncé,...

- Si l'aide ne permet pas de résoudre l'exercice, il faut alors s'aider de la solution, qu'il ne suffit pas de lire : après lecture il faut essayer de refaire l'ensemble de l'exercice seul.

## Dans un souci d'aide maximale à ces préparations, et à cette méthode de travail :

- Les exercices choisis sont conformes aux nouveaux programmes.

- Nous avons choisi des exercices « réalistes » :

- ayant une application en physique, soit fondamentale, soit industrielle,
- ou étant en relation avec l'explication d'un phénomène observable.

- Lors de la résolution d'un exercice, nous avons privilégié les arguments physiques, les schémas et simulations (en faisant appel à la mémoire visuelle), aux arguments mathématiques ; mais lorsque les calculs sont nécessaires, l'ensemble des étapes intermédiaires est présenté.

- Lorsqu'un exercice peut être résolu par plusieurs méthodes intéressantes, ces méthodes sont présentées et développées.

- Pour certains exercices nous mettons le lecteur en garde contre certaines erreurs que nous voyons trop souvent lors d'épreuves écrites ou orales de concours.

Nous souhaitons que cet ouvrage puisse aider de manière efficace une majorité d'étudiants

Les auteurs

# SOMMAIRE

## PARTIE 1 MÉCANIQUE

Chapitre 1 – Cinématique du point changement de référentiel.....	15
1 Une course automobile.....	18
2 Mouvement d'un point matériel sur une parabole.....	18
3 Trois chiens se poursuivent.....	18
4 Trajectoire et hodographe d'un mouvement plan.....	19
5 Aller et retour sur un fleuve.....	19
6 Chasseur et oiseau.....	19
7 Mouvement parabolique à accélération radiale.....	19
Chapitre 2 – Dynamique du point matériel.....	24
1 Un peintre ingénieux.....	25
2 Plan incliné et poulies.....	25
3 Rebond sur un plan incliné.....	25
4 Un jeu d'enfant.....	26
5 Équilibre d'un point.....	26
6 Glissement avec ou sans frottement.....	26
7 Enroulement d'un fil sur un cylindre.....	27
Chapitre 3 – Puissance et énergie en référentiel galiléen.....	34
1 Distance minimale de freinage.....	36
2 Carabine-jouet à ressort.....	36
3 Étude de la chute d'un alpiniste.....	36
4 Pendule sur un plan incliné.....	37
5 Mouvement d'un point sur des surfaces cylindriques.....	37
6 Mouvement d'un point sur un cercle, liaison bilatérale, puis unilatérale.....	38
7 Mouvement d'une particule chargée sur un axe.....	39
Chapitre 4 – Oscillateurs.....	45
1 Association de ressorts.....	47
2 Oscillateur amorti de facteur de qualité élevé.....	47
3 Oscillateur harmonique amorti par frottement solide.....	47
4 Pendule simple amorti.....	48
4 Oscillations isochrones.....	48
5 Portrait d'un oscillateur par toujours harmoniques.....	49
6 Résonance de puissance.....	51
7 Réponse harmonique stabilisée.....	51

9	Oscillateur paramétrique.....	51
10	Système auto-excité : oscillateur de Van der Pol.....	52
<b>Chapitre 5 – Théorème du moment cinétique.....</b>		<b>62</b>
1	Oscillateur harmonique spatial.....	64
2	Mouvement à force centrale.....	64
3	Rappel élastique le long d'un cercle.....	64
4	Déviations d'une particule par un puits potentiel.....	64
5	Particule évoluant dans un cône.....	65
6	Masse liée à un ressort glissant sur un plateau.....	66
<b>Chapitre 6 – Force centrales conservatives – Interaction newtonienne.....</b>		<b>72</b>
1	Particule piégée.....	74
2	Stabilité d'une trajectoire circulaire dans un champ de force en $\frac{1}{r^2}$ .....	74
3	Chez le petit prince.....	75
4	Lancement d'un satellite GPS.....	75
5	Changement de trajectoire.....	75
6	Trajectoire d'une comète.....	75
7	Incident sur un satellite.....	76
8	Mouvement hyperbolique répulsif. Expérience de Rutherford.....	76
9	Correction relativiste. Avance du périhélie de Mercure.....	77
<b>Chapitre 7 – Mécanique en référentiel non galiléen.....</b>		<b>83</b>
1	Une attraction foraine sans danger ?.....	84
2	Équilibre en référentiel tournant.....	84
3	Équerre oscillante.....	84
4	Petites oscillations d'un pendule dans un wagon.....	85
5	Rupture dans un système tournant.....	85
6	Bille dans un tube en rotation.....	86
7	Perle sur un cercle horizontal en rotation.....	87
8	Jeu de balles sur un manège.....	87
<b>Chapitre 8 – Référentiels non galiléens usuels.....</b>		<b>94</b>
1	Si la Terre tournait plus vite.....	96
2	Influence de la force de Coriolis terrestre sur la conduite d'une moto.....	96
3	Lancement vertical d'une fusée.....	96
4	Chute d'un point sur un plan incliné dans le référentiel terrestre.....	96
5	Limite de roche.....	97
6	Pourquoi s'amarrer à la navette spatiale ?.....	97
7	« Visualisation » de la rotation du pendule de Foucault.....	98
8	Distances extrêmes pour le pendule de Foucault.....	98
9	Terme des marées, marées de vives-eaux et marées de mortes-eaux.....	99
<b>Chapitre 9 – Système de deux points matériels.....</b>		<b>108</b>
1	Une fusée en morceaux.....	111
2	Mouvements de rotation et théorème de Koenig.....	111
3	Plate-forme sur des rails.....	111
4	Patinage.....	111
5	Interaction noyau-proton. Distance minimale d'approche.....	112

6	Mouvements de blocs reliés par un ressort.....	112
7	Détermination du rapport des masses de la Terre et du Soleil à l'aide de la troisième loi de Kepler.....	112
8	Points de Lagrange.....	113

## PARTIE 2 OPTIQUE

### Chapitre 1 – Bases de l'optique géométrique. Lois de Snell-Descartes.....

1	Que voit l'œil?.....	123
2	Incidence de Brewster.....	123
3	Pêcheur y es-tu?.....	123
4	Lame de verre et épingles.....	123
5	Mesure de l'indice d'un liquide.....	123
6	Réfractomètre à angle limite de Pulfrich.....	124
7	Autofocalisation d'un rayon laser.....	124
8	Analogie électrique.....	124
9	Observation d'un tube barométrique.....	125

### Chapitre 2 – Notions d'objet, d'image, de stigmatisme et d'aplanétisme.....

1	Miroir plan?.....	132
2	Faisceau laser.....	132
3	Le miroir.....	132
4	Étude d'un périscope.....	132
5	Dioptré sphérique.....	132
6	Principe d'un télémètre élémentaire.....	132

### Chapitre 3 – Miroirs sphériques.....

1	Observation d'un miroir éclairé.....	138
2	Objet virtuel.....	138
3	Cavité formée par deux miroirs confocaux.....	138
4	Conjugaison d'un point par un système de deux miroirs.....	138
5	Construction d'un rayon lumineux.....	139
6	Construction d'une image.....	139
7	Association de miroirs.....	140
8	Télescope de Gregory.....	140
9	Miroir de Foucault.....	141
10	Télescope à deux miroirs sphériques.....	141

### Chapitre 4 – Lentilles sphériques minces.....

1	Construction d'un rayon lumineux.....	151
2	Construction d'une image.....	151
3	Plans conjugués.....	152
4	Doublet.....	152
5	Foyer image d'une lentille plan-convexe.....	152
6	Concentration du flux solaire.....	153
7	Étude d'un objectif.....	153
8	Doublet achromatique.....	154
9	Mise au point.....	154

10	Équation d'un rayon lumineux dans un système de lentilles.....	155
11	Profondeur de champ d'un objectif photographique.....	155
<b>Chapitre 5 – Instruments d'optique : l'œil et la loupe</b> .....		163
1	PI d'un œil myope.....	165
2	Correction d'un œil myope.....	165
3	Pouvoir séparateur d'un œil myope non corrigé.....	165
4	Loupe d'horloger.....	165
<b>Chapitre 6 – Lunettes et viseurs, instruments de mesure</b> .....		170
1	Le viseur.....	171
2	Viseur à frontale fixe.....	171
3	Lunette de Galilée.....	172
4	Mesure d'indice à l'aide d'un microscope.....	172
5	Caractéristiques d'un microscope.....	173
<b>Chapitre 7 – Focométrie</b> .....		178
1	Lentille convergente ou divergente?.....	179
2	Existe-t-il une méthode de Bessel pour les miroirs concaves?.....	179
3	Autocolimation.....	179
4	Repérage du plan focal par autocolimation.....	180
5	Frontofocomètre.....	180
6	Abaque à points alignés.....	181
<b>Chapitre 8 – Le prisme, utilisation en spectroscopie</b> .....		188
1	Télémetre à prismes.....	189
2	Étude d'un spectroscopie à prisme à vision directe.....	189
3	Équerre optique.....	190

## PARTIE 3 THERMODYNAMIQUE

<b>Chapitre 1 – Système gazeux</b> .....		199
1	Pression cinétique d'un gaz parfait monoatomique.....	202
2	Température cinétique et théorème d'équipartition.....	202
3	Énergie interne d'un gaz parfait monoatomique.....	202
4	Écart au gaz parfait.....	203
5	Comparaison des propriétés thermoélastiques d'un gaz parfait et d'un gaz réel.....	203
6	Énergie interne d'un gaz parfait et d'un gaz réel.....	204
<b>Chapitre 2 – Statique des fluides</b> .....		209
1	Mesure de la pression atmosphérique.....	211
2	Atmosphère isotherme.....	211
3	Expérience de Jean Perrin.....	212
4	Atmosphère polytropique.....	212
5	Un glaçon dans un verre à ras bord.....	212
6	Ludion.....	212
7	Oscillations d'un bouchon de liège.....	213
8	Oscillations d'un demi-cylindre flottant.....	213
9	Ascension d'un ballon-sonde.....	213

<b>Chapitre 3 – Premier principe de la thermodynamique - Bilans d'énergie</b> .....	220
1 Transformations polytropique d'un gaz parfait.....	224
2 Expérience de Clément-Desormes (1).....	224
3 Expérience de Clément-Desormes (2).....	224
4 Étude d'une tuyère.....	225
5 Étude d'une machine.....	225
6 Détermination d'une capacité thermique massique.....	226
7 Étude d'un compresseur à deux étages.....	227
8 Compression isotherme d'un gaz parfait.....	227
9 Utilisation d'une pompe.....	228
10 Chauffage d'une enceinte.....	228
11 Cycle décrit par un fil de caoutchouc.....	229
12 Chute d'une masse sur un piston.....	230
13 Capacité calorifique d'un système complexe.....	230
<b>Chapitre 4 – Deuxième principe de la thermodynamique</b> .....	242
1 Critère d'évolution pour un système isolé.....	246
2 Utilisation de tables thermodynamiques.....	246
3 Température absolue et température thermodynamique.....	247
4 $S(U, V)$ , fonction caractéristique.....	247
5 Expérience de RÜCKHARDT.....	247
6 Transformation monobare.....	248
7 Solide en contact thermique avec un thermostat.....	249
8 Chauffage d'une masse d'eau.....	249
9 Transfert de matière, irréversibilité.....	249
10 Système à deux niveaux.....	249
11 Paradoxe de Gibbs.....	250
<b>Chapitre 5 – Étude du corps pur diphasé</b> .....	258
1 Changement d'état de l'eau.....	261
2 Diagramme pression-température de l'eau.....	261
3 Courbe de refroidissement.....	261
4 Fusion de l'eau.....	262
5 Formule de Duperray.....	262
6 Changement d'état en présence d'un gaz.....	262
7 Vaporisation en atmosphère limitée.....	263
8 Liquéfaction du dioxyde de carbone.....	263
<b>Chapitre 6 – Machines thermiques</b> .....	271
1 Diagramme de Reaveau.....	274
2 Cycle de Stirling.....	274
3 Réfrigérateur à absorption.....	274
4 Température maximale d'un système isolé.....	275
5 Diagramme de Watt d'un cylindre de machine thermique.....	275
6 Cycle décrit par un équilibre liquide-vapeur.....	275
7 Étude thermodynamique d'un complexe piscine-patinoire.....	276
8 Étude d'une pompe à chaleur.....	277
9 Étude d'un turbocompresseur à gaz.....	278

## PARTIE 4 ÉLECTRONIQUE

Chapitre 1 – Réseaux linéaires en régime continu .....	293
1 Application des lois de Kirchhoff .....	297
2 Calcul de résistance équivalente .....	297
3 Trois méthodes d'étude d'un réseau linéaire .....	297
4 Recherche de la représentation de Thévenin et de Norton pour un dipôle .....	297
5 Calcul de résistance équivalente .....	298
6 Étude d'un réseau par plusieurs méthodes .....	298
7 Étude d'un électrolyseur .....	298
8 Résistance d'entrée et de sortie d'un quadripôle actif .....	299
9 Résistances et conductances itératives .....	299
10 Convertisseur analogique numérique .....	300
11 Convertisseur numérique analogique .....	301
Chapitre 2 – Réseaux linéaires en régime variable .....	311
1 Décharge d'un condensateur .....	315
2 Énergie magnétique d'une bobine .....	315
3 Transfert de charges entre deux condensateurs .....	315
4 Annulation de la surtension aux bornes d'un circuit (R, L) commuté .....	316
5 Cellules (R,C) soumises à un échelon de tension .....	316
6 Réponse d'un circuit (R,L,C) .....	316
7 Réponse d'un circuit (R,C) série à une excitation périodique en créneaux .....	317
8 Élimination d'un courant transitoire .....	317
9 Circuit (R,C) soumis à un créneau, puis à une impulsion de tension .....	317
10 Réponse d'un circuit (L,C) à une impulsion .....	318
11 Modélisation d'un neurone .....	318
12 Signal carré et oscilloscope en mode « AC » .....	319
Chapitre 3 – Réseaux linéaires en régime sinusoïdal forcé .....	332
1 Utilisation de la notation complexe .....	336
2 Une question d'impédance .....	336
3 Calculs de valeurs efficaces et de déphasages .....	336
4 Étude d'un réseau .....	336
5 Impédance itérative .....	337
6 Pont de Hay .....	337
7 Étude d'un circuit bouchon .....	337
8 Adaptation d'impédances .....	338
9 Ligne de transport d'énergie .....	338
10 Adaptateur d'impédances à composants réactifs .....	338
11 Étude d'un quartz .....	338
12 Réponse d'un circuit (L,C) .....	339
Chapitre 4 – Amplificateur opérationnel .....	347
1 Intérêt d'un suiveur .....	350
2 Additionneur et soustracteur .....	350
3 Amplificateurs à gain élevé .....	350
4 Circuit à A.O. soumis à un échelon de tension .....	351
5 Intégrateur différentiel à capacité commutée .....	351

6	Simulation d'une inductance pure	352
7	Oscillateur quasi sinusoïdal à résistance négative	352
8	Dérives d'un intégrateur à amplificateur opérationnel réel	353
9	Générateur différentiel de courant	354
10	Correction automatique de gain	354
<b>Chapitre 5 – Fonctions de transfert</b>		363
1	Action d'un filtre passe-haut	365
2	Réponse d'un filtre (R,C) à un signal sinusoïdal avec un oscilloscope	365
3	Action d'un filtre passe-bas	366
4	Réponse d'un circuit (R,L) à un signal sinusoïdal	366
5	Action d'un filtre passe-bande	366
6	Passe-bas d'ordre 1 : influence de la charge	367
7	Étude d'une filtre passe-bande	367
8	Filtre réjecteur de fréquence	367
9	Filtre de Butterworth	368
10	Dérivateur à amplificateur opérationnel réel	368
11	Oscillateur quasi sinusoïdal de Colpitts	369
12	Modulation d'amplitude et démodulation	369
13	Fonction de transfert	370
Annexe : Fonctions de transferts élémentaires stables		387

## PARTIE 5 ÉLECTROMAGNÉTISME

<b>Chapitre 1 – Champ et potentiel électrostatiques</b>		393
1	Détermination du champ à partir d'une carte d'équipotentiels	397
2	Ionisation de l'atome d'hydrogène	397
3	Énergie d'une particule $\alpha$	398
4	Énergie réticulaire	398
5	Champ créé par un disque uniformément chargé en un point de son axe	398
6	Équilibre d'une particule	399
7	Champ de pesanteur au centre d'un lac hémisphérique	399
8	Champ de pesanteur au sommet d'une montagne	399
9	Optique électronique	400
<b>Chapitre 2 – Flux du champ électrostatique - Théorème de Gauss</b>		408
1	Analyse d'un champ électrostatique	409
2	Étude d'un champ électrique	410
3	Champ créé par un fil infiniment long uniformément chargé	410
4	Charges uniformément réparties entre deux plans parallèles	411
5	Modèle plan d'une diode à vide	411
6	Champ créé par une sphère chargée en volume	412
7	Analogie gravitationnelle : champ de pesanteur dans une cavité sphérique	412
8	Accrétion d'une étoile	413
<b>Chapitre 3 – Champ magnétique permanent</b>		421
1	Analyse d'un champ	424
2	Champ magnétique créé par trois fils	424
3	Sphère recouverte de spires	425

<b>4</b>	Champ créé par un solénoïde de vingt spires.....	425
<b>5</b>	Champ magnétique sur l'axe d'un solénoïde à section circulaire.....	426
<b>6</b>	Champ magnétique créé par deux bobines.....	427
<b>7</b>	Bobines de Gaugain-Helmoltz.....	427
<b>8</b>	Expérience de Rowland.....	428

## Chapitre 4 – Circulation du champ magnétostatique.

### Théorème d'Ampère..... 434

<b>1</b>	Analyse d'un champ magnétique.....	436
<b>2</b>	Circulation du champ magnétique.....	436
<b>3</b>	Courant uniformément réparti entre deux plans parallèles.....	437
<b>4</b>	Champ créé par un ensemble de fils parallèles.....	437
<b>5</b>	Champ magnétique produit par une bobine torique.....	437
<b>6</b>	Champ créé par un faisceau cylindrique d'électrons.....	438
<b>7</b>	Détermination d'une distribution de courants.....	438

## Chapitre 5 – Dipôles électrique et magnétique..... 444

<b>1</b>	Champ créé par quatre charges ponctuelles.....	446
<b>2</b>	Validité de l'approximation dipolaire électrique.....	446
<b>3</b>	Moment dipolaire d'une distribution de charges.....	447
<b>4</b>	Dipôles répartis entre deux plans parallèles.....	447
<b>5</b>	Champ magnétique créé par un solénoïde.....	448
<b>6</b>	Modèle simplifié du champ magnétique terrestre.....	448
<b>7</b>	Polarisabilité de la matière : modèle de Thomson.....	449
<b>8</b>	Interaction entre une charge ponctuelle et un dipôle.....	449
<b>9</b>	Champ magnétique créé par une ligne bifilaire infinie.....	449
<b>10</b>	Perturbation du champ de gravitation de la Terre due au bourrelet équatorial.....	450
<b>11</b>	Un modèle de l'action d'un champ électrique sur une molécule.....	451
<b>12</b>	Quadrupôle.....	451

## Chapitre 6 – Force de Lorentz..... 462

<b>1</b>	Accélération d'une particule chargée par une différence de potentiel.....	465
<b>2</b>	Particule chargée dans un champ magnétique uniforme.....	465
<b>3</b>	Séparation d'isotopes.....	465
<b>4</b>	Particule chargée dans un condensateur.....	465
<b>5</b>	Mouvement d'une charge dans le champ magnétique créé par un fil infini.....	466
<b>6</b>	Cyclotron.....	466
<b>7</b>	Électron dans un piège de Penning.....	467
<b>8</b>	Spectromètre de masse.....	468
<b>9</b>	Réfraction d'électrons.....	469
<b>10</b>	Conduction dans le germanium. Effet Hall.....	470
<b>11</b>	Mouvement d'une particule dans un champ électrique variable. Miroir magnétique.....	471