

Cap
Prépa
1^{re} année

Sous la direction de
Jérôme Perez

Eric Bellanger
Xavier Ducros
Vincent Renvoizé
Paul Roux

Physique

MPSI-PCSI-PTSI

**Cours complet avec tests,
exercices et problèmes corrigés**

Web
ressources

www.cap-prepa.pearson.fr

- Compléments de cours
- Exercices corrigés interactifs
- Simulations

Classes préparatoires MPSI-PCSI-PTSI

PEARSON
Education



2-530-222-1

Cap Prépa



Physique

**Cours complet avec tests,
exercices et problèmes corrigés**

Sous la direction de
Jérôme Perez

**Eric Bellanger
Xavier Ducros
Vincent Renvoizé
Paul Roux**

Table des matières

Avant-propos	xxi
Les auteurs	xxiii
Partie I Mécanique du point matériel	1
1 Cinématique du point	3
I Mobiles, espace et temps	3
I.1 Mouvement, référentiel, trajectoire	3
I.2 Dérivation temporelle	6
II Vitesse et accélération	8
II.1 Définitions	8
II.2 Quelques mouvements simples	10
III Systèmes de coordonnées	12
III.1 Définitions	12
III.2 Le système cartésien	13
III.3 Le système cylindro-polaire	14
IV Exercices	17
2 Dynamique du point	19
I Lois de Newton	19
I.1 Lois dynamiques et grandeurs cinétiques	19
I.2 Loi de l'inertie	19
I.3 Principe fondamental de la dynamique	20
I.4 Principe des actions réciproques	21
II Lois de force et problèmes de mécanique	22
II.1 Lois d'interaction	22
II.2 Résolution d'un problème de mécanique	22
II.3 Forces de gravitation	23
II.4 Forces élastiques	26
II.5 Liaisons et frottements	29
II.6 Forces électromagnétiques	30
III Exercices	33
3 Travail, puissance et énergie	39
I Puissance et travail	39
I.1 Puissance	39
I.2 Travail	40
II Théorème de l'énergie cinétique	42
II.1 Théorème de la puissance cinétique	42
II.2 Théorème de l'énergie cinétique	43
III Énergie mécanique	44
III.1 Forces conservatives	44
III.2 Théorème de l'énergie mécanique	46
III.3 Exemples de forces conservatives	47
IV Mouvements unidimensionnels	50
IV.1 Définition et exemples	50
IV.2 Équilibre d'un système conservatif	51

IV.3	Mouvement autour d'un équilibre	53
V	Exercices	56
VI	Problème	60
4	Le moment cinétique	65
I	Théorème du moment cinétique	65
I.1	Moment cinétique	65
I.2	Théorème du moment cinétique	66
I.3	Applications	69
II	Mouvements à force centrale	71
II.1	Forces centrales	71
II.2	Propriétés des mouvements à force centrale	72
III	Forces centrales conservatives	74
III.1	Force centrale et énergie potentielle	74
III.2	Mouvements et forces centrales conservatives	75
IV	Les méthodes de Binet	77
IV.1	Le changement de variable de Binet	77
IV.2	Les formules de Binet	78
V	Exercices	80
VI	Problème	82
5	Champs de force newtoniens	85
I	Trajectoires dans un champ newtonien	85
I.1	Forces newtoniennes	85
I.2	Théorème de Gauss	86
I.3	Trajectoires dans un champ newtonien	89
I.4	Trajectoires coniques	90
I.5	Énergie et excentricité	94
II	Applications	95
II.1	Les trajectoires elliptiques en astronomie	95
II.2	Étude des trajectoires hyperboliques	97
III	Exercices	99
IV	Problèmes	101
6	Référentiels non galiléens	103
I	Lois de composition	103
I.1	Référentiels d'étude en mécanique du point	103
I.2	Propriétés du vecteur instantané de rotation	105
I.3	Loi de composition des vitesses	107
I.4	Loi de composition des accélérations	109
II	Dynamique en référentiel non galiléen	111
II.1	Pseudo-forces d'inertie	111
II.2	Théorèmes dynamiques en référentiel non galiléen	112
III	Les mouvements de la Terre	114
III.1	Référentiel de Copernic, référentiel géocentrique	114
III.2	Référentiel terrestre	115
IV	Référentiels et systèmes de coordonnées	119
IV.1	Étude d'un système matériel	119
IV.2	Coordonnées géographiques et sphériques	120
V	Exercices	122

7 Systèmes matériels	127
I Systèmes matériels	127
I.1 Définitions et propriétés générales	127
I.2 Centre d'inertie	128
I.3 Cas du système à deux corps ponctuels	130
I.4 Référentiel barycentrique	131
II Éléments cinétiques des systèmes	132
II.1 Torseur, résultante et énergie cinétique	132
II.2 Théorèmes de König	134
II.3 Cas d'un système à deux corps	136
III Dynamique des systèmes	138
III.1 Théorème de la résultante dynamique	138
III.2 Théorème du moment cinétique	138
III.3 Cas des systèmes isolés	140
III.4 Forces de marée	140
IV Énergétique des systèmes	142
IV.1 Théorème de l'énergie cinétique	142
IV.2 Puissance des forces intérieures	143
IV.3 Énergie potentielle	145
IV.4 Énergie mécanique	146
V Forces conservatives et énergie potentielle	147
V.1 Variations spatiales d'une fonction de point	147
V.2 Forces conservatives et gradient	148
VI Exercices	149
VII Problèmes	153
8 Oscillateurs mécaniques	157
I Oscillations libres	157
I.1 Oscillateurs harmoniques amortis	157
I.2 L'oscillateur harmonique	161
I.3 Régimes d'oscillations libres	164
I.4 Contenu physique des méthodes mathématiques	170
II Oscillateurs linéaires forcés	172
II.1 Propriétés générales	172
II.2 Régime forcé harmonique	173
II.3 Régimes forcés périodiques non harmoniques	177
III Exercices	178
IV Problèmes	181
Formulaire de mécanique	186
Partie II Électrocinétique	197
9 Dipôles électrocinétiques	199
I Courant électrique	199
I.1 Courant électrique et porteurs de charges	199
I.2 Intensité du courant électrique	200
II Tension et potentiel	201
III Approximation des régimes quasi stationnaires (ARQS)	202
IV Lois de Kirchhoff	202
IV.1 Dipôle électrocinétique	203

IV.2	Association en série ou en parallèle	203
IV.3	Description d'un réseau	204
IV.4	Loi des nœuds	204
IV.5	Loi des mailles	205
V	Puissance et conventions pour les dipôles	205
V.1	Puissance reçue - Convention récepteur	205
V.2	Convention générateur	206
VI	Caractéristique courant-tension d'un dipôle - Classification des dipôles	207
VI.1	Définition	207
VI.2	Dipôles symétriques et polarisés	208
VI.3	Dipôles actifs et passifs	209
VI.4	Dipôles linéaires	209
VII	Dipôles linéaires passifs classiques	210
VII.1	Résistance	210
VII.2	Condensateur	211
VII.3	Bobine	214
VII.4	Association de résistances	215
VII.5	Diviseur de tension et de courant	217
VIII	Modélisation linéaire d'un dipôle actif	219
VIII.1	Sources idéales de tension et de courant	219
VIII.2	Sources réelles de tension et de courant	220
VIII.3	Représentations équivalentes de Thévenin et de Norton	221
VIII.4	Association de sources linéaires	223
IX	Exercices	225
10 Régimes transitoires		229
I	Échelon de tension	229
II	Circuit RC	230
II.1	Tension aux bornes du condensateur	230
II.2	Courant électrique dans le circuit	231
II.3	Signification physique de la constante de temps	232
II.4	Étude énergétique	233
III	Circuit RL	234
III.1	Tension aux bornes de la bobine et courant dans le circuit	234
III.2	Aspects énergétiques	236
IV	Circuit RLC série	236
IV.1	Équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur	236
IV.2	Régime harmonique - Circuit LC	238
IV.3	Régime pseudo-périodique	241
IV.4	Régime critique	244
IV.5	Régime apériodique	245
IV.6	Aspects énergétiques	247
V	Exercices	248
11 Signaux sinusoïdaux		251
I	Signaux sinusoïdaux	251
I.1	Définitions et caractéristiques	251
I.2	Différence de phase entre deux signaux synchrones	253
I.3	Mesure d'un déphasage	255
II	Représentation de Fresnel	255
II.1	Principe	256
II.2	Addition de deux signaux synchrones	256

II.3	Dérivation et intégration	257
III	Représentation complexe	257
III.1	Rappels et notations	257
III.2	Représentation complexe	257
III.3	Dérivation et intégration	258
III.4	Moyenne	258
III.5	Intérêt de la notation complexe	259
IV	Décomposition en série de Fourier - Spectre d'un signal (complément)	259
IV.1	Décomposition en série de Fourier	259
IV.2	Analyse harmonique - Spectre	263
12	Résonance d'un circuit RLC série	265
I	Régimes transitoire et sinusoïdal forcé	265
II	Résonance en tension	266
II.1	Amplitude complexe de la tension aux bornes du condensateur	266
II.2	Étude du module : résonance en tension	267
II.3	Étude de la phase	270
III	Résonance en intensité	270
III.1	Amplitude complexe de l'intensité	271
III.2	Étude du module - Résonance en intensité	271
III.3	Étude de la phase	274
IV	Exercices	276
13	Régime sinusoïdal forcé	279
I	Impédance et admittance complexes	279
I.1	Définitions et propriétés	279
I.2	Impédances des dipôles fondamentaux	281
II	Étude d'un réseau en régime sinusoïdal forcé	282
II.1	Lois de Kirchhoff en notation complexe	282
II.2	Association de dipôles passifs	284
II.3	Diviseurs de tension et de courant	286
II.4	Loi des nœuds en termes de potentiel - Théorème de Millman	288
II.5	Représentations de Thévenin et Norton	290
III	Exercices	291
14	Puissance en régime sinusoïdal forcé	295
I	Puissance instantanée et puissance moyenne	295
I.1	Puissance instantanée	295
I.2	Puissance moyenne	296
I.3	Cas des dipôles types R, L et C	296
II	Expression de la puissance moyenne en régime sinusoïdal forcé	297
II.1	Expression générale	297
II.2	Expression de la puissance moyenne en fonction de l'impédance et de l'admittance	298
III	Facteur de puissance	300
III.1	Définition	300
III.2	Pertes en ligne	300
III.3	Le réseau de transport de l'électricité	300
III.4	Amélioration du facteur de puissance	301
IV	Résonance en puissance d'un circuit RLC série (PCSI)	302
IV.1	Bilan de puissance	302
IV.2	Résonance en puissance	303

V	Exercices	305
15	Filtres linéaires	307
I	Fonction de transfert d'un quadripôle linéaire	308
I.1	Quadripôle	308
I.2	Fonction de transfert	308
I.3	Lien entre fonction de transfert et équation différentielle	310
I.4	Stabilité des circuits du premier et du second ordre (PCSI)	311
II	Modélisation de l'entrée et de la sortie d'un quadripôle - Impédances d'entrée et de sortie	312
II.1	Définitions	312
II.2	Quadripôles en cascade (complément)	313
II.3	Mesure des résistances d'entrée ou de sortie	314
III	Filtres linéaires	316
III.1	Principe du filtrage - Filtres	316
III.2	Gain en décibels	316
III.3	Fréquence de coupure à -3 dB - Types de filtres	318
III.4	Diagramme de Bode d'un filtre	319
III.5	Ordre d'un filtre - Décomposition de la fonction de transfert (complément)	320
IV	Exercices	321
16	Filtres linéaires passifs d'ordres un et deux	323
I	Filtres linéaires passifs d'ordre un	323
I.1	Filtre passe-bas	323
I.2	Filtre passe-haut	327
II	Filtres linéaires passifs du second ordre (PCSI et PTSI)	331
II.1	Filtre passe-bas	331
II.2	Filtre passe-haut	336
II.3	Filtre passe-bande	339
II.4	Filtre coupe-bande (ou réjecteur de bande)	343
III	Filtrage d'un signal périodique de forme quelconque	347
III.1	Principe	347
III.2	Exemple du filtrage d'un signal créneau pour obtenir une tension continue de valeur variable	348
IV	Exercices	350
V	Problème	353
17	Amplificateur opérationnel	355
I	Description du composant	355
II	Modélisation en boucle ouverte	356
II.1	Caractéristique statique - Zones de fonctionnement	356
II.2	Modélisation d'un amplificateur de tension	357
III	Modèle de l'AO idéal (ou parfait)	358
III.1	Hypothèses	358
III.2	Exemples	359
III.3	Premiers écarts à l'idéalité : saturation en tension et courant de sortie	362
IV	Réponses temporelle et fréquentielle d'un AO	363
IV.1	Fonction de transfert en régime linéaire : filtre passe-bas (PCSI)	363
IV.2	Vitesse de balayage (<i>slew-rate</i>)	363
V	Modélisation en boucle fermée : stabilité et produit gain-bande sur l'exemple du montage non inverseur (PCSI)	365
V.1	Stabilité du montage	365

V.2	Produit gain-bande	366
VI	Fonctionnement en régime saturé	367
VI.1	Comparateur simple	367
VI.2	Comparateur à hystérésis (PTSI, PCSI)	368
VII	Défauts statiques de l'amplificateur opérationnel (PCSI)	370
VII.1	Modèle	371
VII.2	Dérive du montage intégrateur	372
VII.3	Montage pseudo-intégrateur	374
VIII	Exercices	375
IX	Problème	379
18	Circuits A diode (PCSI)	381
I	Caractéristique courant-tension	381
I.1	Caractéristique réelle	381
I.2	Modélisation de la caractéristique - Modèle de la diode idéale	384
I.3	Détermination graphique du point de fonctionnement	386
II	Application à l'obtention d'une tension continue	386
II.1	Redresser une tension sinusoïdale	387
II.2	Filtrage	390
III	Application à la modulation et démodulation d'amplitude	392
III.1	Intérêt de la modulation d'un signal	392
III.2	Multiplieur analogique	393
III.3	Modulation d'amplitude	393
III.4	Démodulation à l'aide d'un détecteur de crête	394
IV	Exercices	395
V	Problème	398
	Formulaire d'électrocinétique	401
	Partie III Électromagnétisme	413
19	Électrostatique	415
I	Champ électrique	415
I.1	Loi de Coulomb	415
I.2	Cas d'une distribution de charge	417
II	Propriétés de symétrie du champ électrostatique	420
II.1	Plans de symétrie ou d'antisymétrie d'une distribution	420
II.2	Symétries globales du champ électrostatique	423
III	Le théorème de Gauss et ses applications	425
III.1	Théorème de Gauss	425
III.2	Exemple d'utilisation du théorème de Gauss	428
III.3	Champ créé par un plan infini	430
IV	Potentiel électrostatique	432
IV.1	Énergie potentielle électrostatique	432
IV.2	Interprétation du potentiel électrostatique	434
IV.3	Énergie potentielle d'interaction entre deux charges	436
IV.4	Surfaces équipotentielles	438
V	Le condensateur plan	439
VI	Lignes et tubes de champ	442
VII	Continuité du champ et du potentiel	445
VIII	Exercices	447

20 Dipôle électrostatique	449
I Modèle du dipôle électrostatique	449
II Champ créé par un dipôle électrostatique	450
III Actions d'un champ extérieur sur un dipôle	452
III.1 Cas d'un champ extérieur uniforme	452
III.2 Dipôle dans un champ extérieur non uniforme	453
III.3 Exemples	455
IV Énergie d'interaction entre un champ électrostatique et un dipôle	456
V Dipôle « vu de près »	458
VI Exercices	458
21 Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique	461
I Particule chargée dans un champ électrique uniforme	461
I.1 Hypothèse simplificatrice : le poids est négligeable	461
I.2 Étude du mouvement	462
II Utilisation pratique des champs électrostatiques	463
II.1 Accélération de particules chargées	463
II.2 Déviation de particules chargées	465
III Exercices	467
22 Le courant électrique	469
I Le courant électrique	469
I.1 Intensité électrique	469
I.2 Vecteur densité de courant	470
I.3 Le courant dans les fils électriques	472
I.4 Flux de $\vec{j}$ en régime permanent	472
I.5 Courant surfacique	475
II Loi d'Ohm locale dans les conducteurs	476
III Du champ local à l'électrocinétique	478
III.1 Loi d'Ohm	478
III.2 Potentiel – Loi des mailles	481
III.3 Approximation des états quasi stationnaires	481
IV Puissance électrique reçue par un dipôle électrocinétique	484
V Exercices	485
23 Le champ magnétique : approche expérimentale	487
I Champ magnétique	487
I.1 Définition du champ magnétique	487
I.2 Champ magnétique terrestre	488
I.3 Spectre d'un aimant droit	489
II Champs magnétiques créés par des courants	490
II.1 Bobine plate	491
II.2 Bobines de Helmholtz	492
II.3 Solénoïde	492
III Principe de superposition	493
24 Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique	495
I Force de Lorentz	495
II Mouvement d'une particule dans un champ magnétique	496
III Applications physiques des champs magnétiques uniformes	500
III.1 Écran à tube cathodique	500
III.2 Spectrographe de masse	501

III.3	Accélérateurs de particules	502
IV	Exercices	503
25	Action d'un champ magnétique sur un courant	505
I	Force de Laplace	505
II	Effet Hall	508
II.1	Effet Hall dans un fil électrique	508
II.2	Teslamètre à effet Hall	511
III	Exercices	512
26	Magnétostatique	515
I	Champ magnétique créé par un courant	515
I.1	Loi de Biot et Savart	515
I.2	Exemple du champ magnétique créé par un segment de fil parcouru par un courant	518
II	Symétries du champ magnétique	520
III	Flux et circulation du champ magnétique	522
III.1	Flux du champ magnétique	522
III.2	Circulation du champ magnétique : théorème d'Ampère	524
IV	Exemples de calculs de champs magnétiques	527
IV.1	Champ créé par un fil infini	528
IV.2	Champ créé par une spire circulaire sur son axe	528
IV.3	Champ créé par un solénoïde	530
V	Exercices	537
27	Dipôle magnétique	539
I	Modèle du dipôle magnétique	539
I.1	Définition d'un dipôle magnétique	539
I.2	Calcul du champ magnétique créé par une petite spire vue de loin	539
II	Applications du modèle du dipôle	543
III	Comparaison des dipôles électrostatique et magnétostatique	544
IV	Problème	545
	Formulaire d'électromagnétisme	547
	Partie IV Optique géométrique	551
28	Introduction à l'optique géométrique	553
I	Onde lumineuse	553
I.1	Nature ondulatoire de la lumière	553
I.2	Fréquence, longueur d'onde	553
I.3	Spectre visible	554
I.4	Vitesse de propagation dans la matière, indice de réfraction	554
II	Approximation de l'optique géométrique	555
II.1	Notion de rayon lumineux	555
II.2	Hypothèse définissant le cadre de l'étude	556
III	Principe de Fermat, chemin optique	557
III.1	Chemin optique le long d'un rayon	557
III.2	Trajectoire du rayon lumineux	558
IV	Lois de Snell-Descartes	558
IV.1	Réflexion	558
IV.2	Réfraction	559

IV.3	Conséquences immédiates	560
V	Prisme	562
V.1	Présentation et calcul de la déviation	562
V.2	Minimum de déviation	563
V.3	Prisme à réflexion totale	564
VI	Compléments	566
VI.1	Différentielle du chemin optique en milieu homogène	566
VI.2	Principe de Fermat et lois de Snell-Descartes	566
VI.3	Surface d'onde et théorème de Malus	568
VII	Exercices	569
VIII	Problèmes	573
9	Formation des images	577
I	Points conjugués, stigmatisme et aplanétisme	577
I.1	Stigmatisme rigoureux	577
I.2	Nature réelle ou virtuelle de l'image et de l'objet	578
I.3	Stigmatisme approché des systèmes centrés, aplanétisme	580
I.4	Aberrations	581
II	Miroir sphérique	583
II.1	Présentation du miroir sphérique	583
II.2	Constructions géométriques	587
II.3	Formules de conjugaison pour le miroir sphérique à partir d'une construction	590
III	Complément : dioptr sphérique	593
III.1	Relation de conjugaison avec origine au sommet	594
III.2	Grandissements	596
III.3	Constructions géométriques pour un dioptr sphérique	597
III.4	Cas particuliers	599
III.5	Stigmatisme approché du dioptr sphérique	600
IV	Systèmes centrés dans l'approximation de Gauss	602
IV.1	Invariant de Lagrange-Helmholtz	602
IV.2	Foyer objet, foyer image	602
IV.3	Plans principaux, points principaux	602
IV.4	Distances focales, vergence	603
IV.5	Formules de conjugaison avec origines aux foyers	603
IV.6	Grandissement et conjugaison avec origines aux points principaux	604
V	Cas des lentilles minces	604
V.1	Présentation	604
V.2	Formules de conjugaison et de grandissement	605
V.3	Lentilles convergentes et divergentes	606
V.4	Constructions géométriques pour les lentilles	607
V.5	Correspondance objet-image pour une lentille convergente	611
V.6	Correspondance objet-image pour une lentille divergente	612
VI	Exercices	614
VI.1	Miroirs	614
VI.2	Lentilles minces	616

30 Instruments d'optique, focométrie	619
I Focométrie	619
I.1 Reconnaissance rapide	619
I.2 Focométrie d'une lentille	621
II Présentation des appareils usuels	623
II.1 Sources de lumière	623
II.2 Œil et oculaire	626
II.3 Lunette autocollimatrice	627
II.4 Collimateur	629
II.5 Viseur	629
III Goniomètre et spectroscopie	630
III.1 Présentation et réglage préliminaire du goniomètre	630
III.2 Spectroscopie à prisme	632
IV Exercices	636
IV.1 Focométrie	636
IV.2 Instruments d'optique	637
Formulaire d'optique géométrique	640
 Partie V Thermodynamique	 643
31 Du gaz parfait monoatomique aux fluides réels et aux phases condensées	645
I Étude d'un gaz à basse pression, définitions	645
I.1 Système thermodynamique, paramètres d'un système	645
I.2 Résultats expérimentaux, gaz parfait	647
II Théorie cinétique du gaz parfait monoatomique	649
II.1 Distribution des vitesses moléculaires	649
II.2 Définition cinétique de la pression	650
II.3 Définition cinétique de la température	652
II.4 Équation d'état du gaz parfait monoatomique	652
II.5 Énergie interne du gaz parfait monoatomique	653
II.6 Capacité thermique à volume constant	653
III Fluides réels et phases condensées	656
III.1 Modèle de fluide réel, gaz de Van der Waals	656
III.2 Rudiments sur les fonctions de plusieurs variables	659
III.3 Dilatation et compressibilité d'un fluide	661
III.4 Phase condensée incompressible et indilatable	662
IV Exercices	663
V Problème	666
 32 Statique des fluides dans le champ de pesanteur	 667
I Modèle du milieu continu	667
I.1 Les différentes échelles de description d'un fluide	667
II Variations spatiales de la pression dans un fluide	668
III Champ de pression dans un liquide (hydrostatique)	669
III.1 Loi de l'hydrostatique de Pascal	669
III.2 Applications de la loi de l'hydrostatique de Pascal	670
IV Modèle de l'atmosphère	674
IV.1 Modèle isotherme de l'atmosphère	674
V Le facteur de Boltzmann	676
V.1 Construction du facteur de Boltzmann	676