

PHYSIQUE

CARNET DE BORD

Utilisation de ce document

Ce document est une aide aux révisions : il permet de dégager les points les plus importants du cours et des séances d'exercices.

Vous devriez avoir ce document avec vous toute l'année, et il doit vous servir de référence pour savoir quoi réviser en priorité pour chaque chapitre.

Niveau 1 Il s'agit des points les plus fondamentaux à maîtriser, ne demandant généralement pas de grandes compétences techniques.

Niveau 2 Les compétences décrites ici sont généralement un peu plus techniques, mais doivent être maîtrisées par un étudiant de niveau moyen. C'est aussi ici que se trouvent les démonstrations de cours les plus classiques.

Niveau 3 Il s'agit des points à travailler une fois que vous êtes à l'aise sur le chapitre en question, et que les deux niveaux précédents sont parfaitement maîtrisés. Ces compétences sont généralement utiles pour traiter les questions les plus difficiles des sujets d'écrit de type concours. Ce niveau est à destination des meilleurs étudiants.

Vous pouvez cocher les cases à disposition au fur et à mesure que vous acquerez les compétences correspondantes.

Il ne faut s'attarder sur des compétences de niveau supérieur uniquement une fois que les niveaux inférieurs sont complètement maîtrisés.

Conseils généraux pour votre travail personnel

Votre priorité doit être de profiter au maximum du temps passé en classe avec l'enseignant, et d'optimiser l'apprentissage du cours et des exercices. Voici quelques conseils permettant de réaliser cet objectif :

- Après une séance de cours magistral (en classe entière), il faut relire le cours le plus tôt possible, typiquement le soir même. Ainsi, si des questions émergent, le cours sera encore frais et vous pourrez rajouter quelques notes pour préciser ces points de cours, ou bien poser des questions à l'enseignant en début de séance suivante.
- Avant une séance de travaux dirigés, il est important de relire, même rapidement, le cours correspondant, afin d'optimiser la séance et de savoir de quoi on parle en entamant la résolution des exercices.
- Pendant une séance de TD, il faut être le plus actif possible, et ne pas attendre ni la correction de l'exercice au tableau, ni les camarades de classe pour en faire le plus possible.
- Après une séance de TD, et notamment en vue des révisions pour les DS, il ne faut pas se contenter de relire les exercices, mais plutôt de refaire soi-même les exercices, quitte à y passer plus de temps et à se concentrer sur certains exercices (correspondants au « niveau 1 », puis au « niveau 2 »).
- Dès qu'un DM est distribué, il faut commencer à travailler dessus, seul ou à plusieurs, afin de faire émerger des questions et d'avoir le temps de les poser à l'enseignant. Le plus important est d'être dans une démarche de recherche et de questionnement, bien plus que le résultat final.
- Si vous faites des fiches de révision, elles doivent être le plus synthétiques possible, pensez bien qu'au moment des révisions des écrits, vous aurez tout le programme de l'année dans *chaque* matière à réviser.

Partie A – Mécanique

Chapitre 1 – Observation du mouvement

Niveau 1

- Savoir que la vitesse est la dérivée de la position
- Savoir que l'accélération est la dérivée de la vitesse
- Savoir définir un référentiel galiléen
- Exercices 1, 2, 3, 6, 11

Niveau 2

- Savoir intégrer une accélération constante pour obtenir une vitesse
- Savoir intégrer de nouveau pour obtenir l'expression de la position
- Utiliser les conditions initiales pour déterminer les constantes d'intégration
- Savoir quand on peut considérer une masse comme un point matériel
- Exercices 4, 5, 7, 12

Niveau 3

- Connaître plusieurs référentiels classiques
- Savoir appliquer le principe d'inertie dans un référentiel galiléen
- Exercice 13

Chapitre 2 – Interactions conservatives

Niveau 1

- Expression (et *signe*) de l'énergie potentielle de pesanteur
- Expression de l'énergie potentielle élastique associée à un ressort en fonction de ℓ et ℓ_0 , ou en fonction de X
- Savoir interpréter un graphe d'énergie potentielle : positions d'équilibre, stabilité
- Exercices 1 et 3

Niveau 2

- Savoir écrire l'énergie potentielle de pesanteur le long d'une pente d'angle α
- Savoir trouver de manière analytique les positions d'équilibre pour une énergie potentielle donnée
- Distinguer interaction conservative et interaction non conservative
- Exercices 2, 5 et 6

Niveau 3

- Savoir déterminer de manière analytique la stabilité des positions d'équilibre
- Exercices 4 et 7

Chapitre 3 – Conservation de l'énergie

Niveau 1

- Connaître l'expression de l'énergie cinétique d'un point matériel
- Savoir que l'énergie mécanique est *définie* comme la somme de l'énergie cinétique et des énergies potentielles
- Savoir qu'en l'absence d'interactions non conservatives, l'énergie mécanique se conserve (théorème de l'énergie mécanique)
- Savoir appliquer le théorème de l'énergie mécanique dans des cas simples entre un état initial et un état final qui seront définis avec soin, pour déterminer une vitesse ou une position
- Exercices 1 et 2, question 3.1.

Niveau 2

- Énoncer le théorème de la puissance mécanique, liant la dérivée de l'énergie mécanique à la puissance des forces non conservatives
- Savoir appliquer le théorème de l'énergie mécanique pour obtenir une équation différentielle du premier ordre (cas de la chute avec frottements fluides)
- Exercices 3, 5, 6

Niveau 3

- Énoncer le théorème de l'énergie mécanique dans le cas général, reliant variation d'énergie mécanique et travail des forces non conservatives
- Dédire d'un graphe d'énergie potentielle ou d'une expression d'une énergie mécanique une vitesse ou une position en des points particuliers
- Dédire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement borné ou non d'une trajectoire
- Exercices 4 et 7

Point « Maths » – Équation différentielle du premier ordre

Niveau 1

- Connaître la forme canonique d'une équation différentielle du premier ordre sans second membre : $\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\tau}v = 0$
- Savoir que τ est exprimé en secondes et correspond au temps caractéristique d'évolution du système.
- Savoir que la solution d'une telle équation différentielle est sous la forme $v(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$, avec A une constante à déterminer grâce aux conditions initiales.
- Savoir qu'en cas d'équation avec second membre, la solution particulière de cette équation s'obtient en régime permanent.

Niveau 2

- Savoir déterminer la solution particulière de l'équation avec second membre en régime permanent.
- Savoir déterminer la constante d'intégration à partir de la condition initiale du système.
- Être capable de tracer le graphique représentant la solution en fonction du temps.

Chapitre 4 – Oscillateurs

Niveau 1

- Savoir que $\dot{x} = \frac{dx}{dt} = v$ et que $\ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} = \dot{v} = a$
- Savoir qu'un système masse-ressort a un comportement oscillatoire sous une forme sinusoïdale, et que cela s'appelle un oscillateur harmonique
- Savoir qu'un pendule simple a un comportement d'oscillateur harmonique dans l'approximation des petits angles
- Reconnaître un oscillateur harmonique d'un oscillateur avec frottements à partir de l'équation différentielle (présence d'un terme de premier ordre ou non)
- Connaître les noms des différents régimes : pseudo-périodique, apériodique, critique, et différencier sur un graphique le cas du régime pseudo-périodique des deux autres
- Obtenir l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique grâce au PFD
- Exercices 3 et 4

Niveau 2

- Obtenir l'équation différentielle d'un oscillateur harmonique et d'un oscillateur avec frottements grâce au théorème de l'énergie mécanique (système masse-ressort et pendule)
- Résoudre entièrement le cas d'un oscillateur harmonique
- Résoudre le cas d'un oscillateur avec frottements dans l'hypothèse de frottement faible
- Exercices 1, 2, 5 et 6

Niveau 3

- Résoudre le cas d'un oscillateur amorti dans le cas général, être à l'aise avec le facteur d'amortissement comme avec le facteur de qualité.

Point « Maths » – Équation différentielle d'un oscillateur harmonique

Niveau 1

- Connaître la forme canonique d'une équation différentielle du second ordre sans second membre : $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$, avec ω_0 appelée pulsation propre du système et s'exprimant en s^{-1} .
- Savoir que la solution de cette équation est $x(t) = A \cos(\omega_0 t) + B \sin(\omega_0 t)$, avec A et B des constantes à déterminer grâce aux conditions initiales.

Niveau 2

- Connaître la forme canonique avec second membre et s'en servir pour obtenir facilement la position d'équilibre : $\ddot{x} + \omega_0^2 x = \omega_0^2 x_{eq}$
- Savoir déterminer les constantes d'intégration à partir des conditions initiales sur la vitesse et la position
- Être capable de tracer le graphique représentant la solution en fonction du temps

Niveau 3

- Être capable de tracer le graphique de la solution d'un oscillateur harmonique uniquement en voyant l'équation différentielle et les conditions initiales

Point « Maths » – Équation différentielle d'un oscillateur amorti

Niveau 1

- Reconnaître l'équation différentielle d'un oscillateur amorti
- Écrire le polynôme caractéristique de l'équation différentielle et son discriminant

Niveau 2

- Relier le signe du discriminant aux différents régimes de l'oscillateur amorti
- Savoir que la solution s'écrit $x(t) = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}$ avec r_1 et r_2 les racines du polynôme caractéristique
- Reconnaître dans l'expression de la solution d'un oscillateur pseudo-périodique le terme correspondant à l'amortissement et celui correspondant aux oscillations

Niveau 3

- Résoudre entièrement l'équation différentielle d'un oscillateur amorti dans le cas général
- Dans le cas d'un oscillateur pseudo-périodique, savoir que la solution physique doit être réelle, différencier les exponentielles réelles (amortissement) des exponentielles complexes (oscillations) lors du calcul et en déduire la forme de la solution.

Chapitre 5 – Lois de Newton

Niveau 1

- Savoir qu'un vecteur est un objet mathématique contenant des informations de direction, de sens et de norme, et peut être appliqué à de nombreux concepts physiques
- Être à l'aise avec les notations propres aux vecteurs en physique : différence entre \vec{v} , v et v_x
- Comprendre les concepts de *composante* d'un vecteur (v_x), coordonnée d'un point (x), et vecteur unitaire (\vec{u}_x) et différencier tous ces objets physiques
- Connaître les trois lois de Newton
- Connaître les expressions du poids et de la force de rappel d'un ressort
- Savoir projeter un vecteur sur deux axes
- Utiliser le PFD dans des cas simples : applications directes 1, 3, et 5

Niveau 2

- Savoir que la puissance d'une force s'écrit $\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v}$
- Savoir que le travail d'une force constante peut s'écrire $W = \vec{F} \cdot \vec{AB}$
- Savoir le travail est l'intégrale de la puissance dans le temps
- Savoir que pour une interaction conservative, à une dimension, $\vec{F} = -\frac{dE_p}{dx} \vec{u}_x$, et l'utiliser pour déterminer une force à partir de l'expression de son énergie potentielle
- Connaître les expressions des forces d'interaction gravitationnelle et électromagnétique
- Application directe 2, exercices 1, 2 et 4

Niveau 3

- Savoir que le travail élémentaire d'une force s'écrit $\delta W = \vec{F} \cdot \vec{d\ell}$
- Lier travail et énergie potentielle
- Application directe 4, exercices 3 et 5

Chapitre 6 – Oscillations forcées

Niveau 1

- Savoir obtenir l'équa diff par application du PFD au système masse-ressort horizontal
- Savoir qu'en complexe, dériver revient à multiplier l'amplitude complexe par $j\omega$
- Calculer une amplitude complexe lorsque l'équation différentielle complexe est donnée
- Exercice 2

Niveau 2

- Comprendre le passage en complexe : signification de l'amplitude complexe (norme : amplitude réelle du mouvement ; argument : déphasage avec l'excitation)
- Exercices 1 et 4

Niveau 3

- Comprendre la totalité de la résolution d'un oscillateur forcé : obtention de l'équation différentiel, passage en complexe, résolution
- Calculs liés à la résonance en amplitude et en vitesse
- Exercice 3

Chapitre 7 – Ondes mécaniques

Niveau 1

- Comprendre le concept d'onde progressive, savoir qu'une onde dépendant de $x - ct$ progresse dans le sens des x croissants (selon $+\vec{u}_x$)
- Savoir effectuer des dérivées partielles simples ($\cos(kx - \omega t)$ par exemple)
- Savoir qu'une onde harmonique est sinusoïdale
- Comprendre la double périodicité pour les ondes harmoniques, les concepts de longueur d'onde et de période temporelle, et savoir que $\lambda = cT$
- Connaître l'expression de la célérité d'une onde le long d'une corde $c = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$
- Comprendre le concept d'onde stationnaire, visualiser les noeuds et les ventres
- Exercice 1

Niveau 2

- Connaître la forme canonique de l'équation d'onde de d'Alembert à une dimension
- Savoir démontrer l'équation d'onde pour la corde vibrante en étant guidé
- Corde fixée en un point : se servir des conditions aux limites pour montrer l'existence de l'onde réfléchie dans le cas harmonique, et le caractère stationnaire de la solution
- Corde fixée aux deux extrémités : montrer l'apparition de modes propres de fréquences déterminées et multiple d'une fondamentale
- Exercices 2 et 3

Niveau 3

- Mener la démonstration de l'équation d'onde de la corde vibrante de bout en bout, en connaissant les hypothèses permettant d'arriver à cette équation
- Comprendre l'analyse harmonique et l'utilisation des séries de Fourier
- Exercices 4, 5 et 6

Partie B – Thermodynamique

Chapitre 1 – Formes et transferts d'énergie

Niveau 1

- Comprendre le concept d'énergie interne
- Savoir que les énergies internes d'un gaz parfait et d'une phase indilatable et incompressible ne dépendent que de leur température
- Savoir que $\Delta U = C_v \Delta T$ pour un GP et une PII
- Savoir que la température d'un thermostat peut être considérée comme constante
- Connaître les définitions d'un système ouvert, fermé ou isolé
- Savoir écrire $F = P S$
- Connaître l'équation d'état des gaz parfaits $P V = n R T$ et l'écrire en différents état du même système
- Faire la différence entre un *état* et une *transformation*
- Savoir ce que signifie les transformations isobare, isotherme, isochore, adiabatique
- Savoir écrire $\delta W = -P dV$
- Différencier chaleur et température
- Savoir qu'à puissance constante, $W = \mathcal{P} \Delta t$
- Exercices 1, 2, 3, 6 et 7

Niveau 2

- Savoir différencier grandeurs intensives et extensives
- Savoir écrire $W = \int \mathcal{P} dt$
- Exercices 4 et 5

Niveau 3

- Exercice 8

Chapitre 2 – Conservation de l'énergie

Niveau 1

- Appliquer le premier principe à un système d'énergie mécanique constante entre deux états
- Écrire le premier principe et calculer le travail échangé lors de transformations isochore, isobare, adiabatique
- Exercices 10 et 11 (sans les transformations isothermes)

Niveau 2

- Appliquer le premier principe dans tous les cas, y compris si l'énergie mécanique du système varie
- Calculer le travail échangé lors d'une transformation isotherme
- Exercices 9, 10, 11 et 13

Niveau 3

- Exercice 12

Chapitre 3 – Bilans enthalpiques

Niveau 1

- Connaître la définition de l'enthalpie $H = U + PV$
- Connaître la relation de Mayer $C_p = C_v + nR$
- Savoir que pour un GP et une PII $\Delta H = C_p \Delta T$
- Savoir que pour une transformation isobare $Q = \Delta H = C_p \Delta T$
- Savoir que pour une transformation isochore $Q = \Delta U = C_v \Delta T$
- Savoir que pour une phase condensée, $\Delta V = 0$, $\Delta U = \Delta H$ et $C_p = C_v$
- Connaître les trois états de la matière et les noms des différents changements d'état
- Savoir qu'un changement d'état se fait à température et pression constante
- Applications directes du cours (sauf la dernière) ; exercice 1

Niveau 2

- Savoir que pour une transformation monobare le premier principe s'écrit $\Delta H = W_{\text{autres}} + Q$, avec W_{autres} le travail autre que celui des forces de pression
- Savoir démontrer la relation de Mayer
- Savoir écrire $\Delta H = mL_{\text{chgt}}$ lors d'un changement d'état
- Repérer sur un diagramme les zones correspondant à un gaz et aux phases condensées
- Savoir écrire $\Delta H = \xi \Delta_r H^\circ$ lors d'une réaction chimique
- Savoir qu'un $\Delta_r H^\circ < 0$ correspond à une réaction exothermique
- Dernière application du cours (température de flamme) ; exercices 2 et 4

Niveau 3

- Savoir tracer un diagramme (P, T) représentant les trois états de la matière, placer le point critique et le point triple
- Exercices 3, 5 et 6

Chapitre 4 – Second principe

Niveau 1

- Savoir que l'entropie est une grandeur extensive mesurant le désordre d'un système
- Savoir citer les causes d'irréversibilité classiques
- Connaître la loi de Laplace $PV^\gamma = \text{cste}$ et ses *trois* conditions d'application
- Savoir retrouver les autres formes de la loi de Laplace à partir de l'EDP

Niveau 2

- Savoir écrire et appliquer le second principe
- Comprendre la différence entre égalité du premier principe et inégalité du second principe
- Exercices 1 et 3

Niveau 3

- Retrouver la variation d'entropie d'un gaz parfait
- Exercice 2

Chapitre 5 – Machines thermiques**Niveau 1**

- Savoir tracer le schéma de principe d'une machine thermique ditherme et préciser le sens des échanges pour un fonctionnement moteur ou un fonctionnement récepteur
- Savoir que l'efficacité correspond au quotient de l'énergie utile par l'énergie « coûteuse » fournie au système. L'exprimer pour un moteur, un réfrigérateur et une pompe à chaleur
- Savoir que sur un cycle, les variations de toutes les variables d'état sont nulles, et notamment que $\Delta U = \Delta S = 0$
- Savoir qu'un cycle de Carnot est constitué de deux transformations isothermes et de deux transformations isentropiques
- Savoir que le cycle de Carnot est le cycle d'efficacité maximale, jamais atteinte en réalité
- Repérer sur un cycle les échanges sous forme de travail, les échanges de chaleur avec la source chaude, et avec la source froide
- Exercices 1 et 2

Niveau 2

- Effectuer un bilan énergétique et un bilan entropique sur un cycle entier dans le cas d'un cycle de Carnot pour obtenir l'expression de l'efficacité maximale en fonction des températures des sources chaude et froide
- Démontrer les énoncés de Clausius et de Thomson du second principe
- Calculer l'efficacité d'un cycle quelconque décrit dans un énoncé
- Utiliser le premier principe en système ouvert dans des cas simples, et notamment savoir qu'en l'absence de partie mobile, une transformation adiabatique subie par un système est isenthalpique
- Connaître les notions de liquide saturant et de vapeur saturante
- Exercices 4, 7 et 8

Niveau 3

- Utilisation du premier principe en système ouvert sur l'ensemble d'un cycle frigorifique
- Savoir tracer la courbe de rosée et la courbe d'ébullition en (V, P)
- Connaître et appliquer le théorème des moments
- Exercices 3, 5 et 6

Partie C – Mécanique des fluides

Chapitre 1 – Statique des fluides

Niveau 1

- Comprendre qu'un champ scalaire associe un *nombre* à chaque point de l'espace
- Savoir écrire la relation fondamentale de la statique des fluides si seul le poids s'applique : $\frac{dP}{dz} = +\rho g \vec{u}_z$ (axe z descendant) ou $\frac{dP}{dz} = -\rho g \vec{u}_z$ (axe z montant)
- Savoir résoudre la RFSF dans le cas d'un liquide incompressible (ρ constant)
- Exercices 1, 3 et 4

Niveau 2

- Savoir résoudre la RFSF dans le cas de l'atmosphère isotherme
- Savoir comment est défini un vecteur surface et écrire la force en fonction de ce vecteur surface
- Comprendre le concept de gradient d'un champ scalaire
- Exercices 2, 5 et 6

Niveau 3

- Savoir retrouver l'équivalent volumique des forces de pression pour une particule fluide cubique
- Savoir écrire et démontrer la RFSF dans le cas général : $\vec{f}_v = \overrightarrow{\text{grad}} P$
- Exercice 7

Chapitre 2 – Description d'écoulement et opérateurs vectoriels

Niveau 1

- Comprendre qu'un champ vectoriel associe un *vecteur* à chaque point de l'espace
- Commencer à faire connaissance avec les concepts de flux et de circulation
- Savoir qu'un flux se calcule à *travers une surface* et une circulation *le long d'un contour*.
- Connaître la définition d'une ligne de courant

Niveau 2

- Comprendre la façon dont sont définis les repères cylindrique et sphérique
- Avoir une première idée de la signification de la divergence et du rotationnel d'un champ vectoriel
- Savoir qu'en mécanique des fluides, une divergence positive représente une source de fluide et une divergence négative représente un puits
- Expression du flux d'un vecteur à travers une surface
- Expression de la circulation d'un vecteur le long d'un contour
- Savoir ce qu'est un tube de courant

Niveau 3

- Comprendre les différents opérateurs vectoriels et connaître leurs expressions, ainsi que le passage du local au global (Green-Ostrogradski et Stokes-Ampère)

Chapitre 3 – Étude d'un fluide en mouvement : Bernoulli

Niveau 1

- Savoir que dans la plupart des situations étudiées, le débit volumique se conserve, et s'écrit $D_v = v \times S$ avec S la section d'un tuyau
- Connaitre la relation entre débit massique et débit volumique : $D_m = \rho D_v$
- Connaître la relation de Bernoulli
- Savoir résoudre un problème simple de mécanique des fluides en écrivant l'équation de Bernoulli *et* la conservation du débit
- Exercices 1, 4 et 8

Niveau 2

- Savoir que le débit à travers une surface est le flux du vecteur vitesse, c'est-à-dire $D_v = \iint_S \vec{v} \cdot \vec{dS}$ pour une distribution des vitesses et une surface S quelconques, avec \vec{dS} un vecteur surface élémentaire balayant la totalité de la surface S
- Connaître l'équation de conservation de la masse à une dimension
- Connaître les hypothèses permettant d'écrire Bernoulli : écoulements parfaits et stationnaires d'un liquide homogène (ρ constant), sans source ni puits
- Connaître la relation de Bernoulli et savoir ajouter une pompe ou une turbine, ainsi que les pertes de charge
- Exercices 2, 4, 5, 6 et début de l'exercice 3 (3.1 et 3.2)

Niveau 3

- Démontrer l'équation de continuité (ou de conservation de la masse) à une dimension en faisant un bilan de matière sur une tranche de canalisation dans le cas général
- Comprendre la différence entre pertes de charge singulière et régulière
- Exercices 7, 9 et exercice 3 en entier

Partie D – Conduction thermique

Niveau 1

- Savoir qu'en régime permanent le flux de chaleur est uniforme dans un barreau calorifugé
- Obtenir l'équation différentielle à résoudre à partir de l'équation de la chaleur, en régime permanent
- Résoudre cette équation différentielle en utilisant les conditions aux limites
- Connaître la loi de Fourier à une dimension $\vec{j}_{th} = -\lambda \frac{dT}{dx} \vec{u}_x$
- Savoir que le flux thermique est la quantité de chaleur traversant une surface par unité de temps
- Savoir que $\Phi_{th} = j_{th} \times S$
- Savoir que $R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$, et qu'il faut ajouter les résistances thermiques lorsque différentes couches de matériaux sont superposées
- Exercice 1

Niveau 2

- Démontrer l'équation de la chaleur à 1D en régime permanent sur une tranche de barreau (en écrivant un bilan de puissance sur la tranche)
- Connaître l'expression générale de la loi de Fourier $\vec{j}_{th} = -\lambda \overrightarrow{\text{grad}} T$
- Savoir que le flux thermique est le flux du vecteur densité de flux thermique : $\Phi_{th} = \iint \vec{j}_{th} \cdot \vec{dS}$
- Savoir retrouver l'expression de la résistance thermique grâce à l'analogie avec l'électricité
- Savoir utiliser la loi de Newton pour traiter les échanges conducto-convectifs
- Exercices 2, 3, 4 et 7

Niveau 3

- Démontrer l'équation de la chaleur dans le cas général
- Résoudre l'équation de la chaleur dans le cas du régime sinusoïdal établi
- Exercices 5, 6 et 8

Partie E – Électromagnétisme

Chapitre 1 – Électrostatique

Niveau 1

- Concept de distributions continues de charges : $Q = \rho V$; $Q = \sigma S$; $Q = \lambda L$.
- Savoir que $\vec{F} = q\vec{E}$
- Savoir que les invariances de la distribution de charges permettent de déterminer de quelles coordonnées dépend \vec{E}
- Savoir que les symétries de la distrib. de charges permettent de déterminer la direction de \vec{E}
- Savoir que dans les situations étudiées à symétrie cylindrique et sphérique, généralement le champ électrique est radial et ne dépend que de r .
- Savoir écrire le théorème de Gauss, liant flux de \vec{E} à travers une surface fermée et les charges électriques contenues dans le volume délimité par cette surface.
- Applications directes : champs créés par une charge ponctuelle, par un fil chargé et par une sphère chargée en surface ; exercices 2 et 4

Niveau 2

- Connaître la loi de Coulomb (expression de la force d'interaction électrostatique)
- Citer le principe de superposition
- Savoir que le champ électrique est compris dans les plans de symétrie de la distribution de charge, et que deux plans de symétrie *passant par le point M* permettent de déterminer la direction de \vec{E}
- Connaître les topologies classiques de champ électrique et la forme des lignes de champ
- Savoir que le champ électrique est continu, sauf à la traversée d'une surface chargée
- Savoir que $\vec{E} = -\text{grad} V$ et calculer le potentiel d'une distribution de charge classique
- Savoir que la circulation de \vec{E} entre deux points correspond à la différence de potentiel entre ces deux points : $\int_A^B \vec{E} \cdot \vec{d\ell} = V_A - V_B$
- Savoir que les surfaces équipotentielles sont orthogonales aux lignes de champ et que le champ est orienté vers les potentiels décroissants
- Savoir que le potentiel est continu, sauf à la traversée d'une charge ponctuelle ou d'une ligne chargée
- Applications directes : cylindre chargé en surface et en volume, sphère chargée en volume ; exercices 1 et 5

Niveau 3

- Connaître la forme locale du théorème de Gauss (équation de Maxwell-Gauss)
- Connaître l'équation de Maxwell-Faraday en régime stationnaire
- Montrer que les surfaces équipotentielles sont orthogonales aux lignes de champ, et que le champ est orienté dans le sens des potentiels décroissants
- Connaître la relation de continuité du champ électrique à la traversée d'une surface chargée
- Application directe : champ créé par un plan infini chargé en surface ; exercices 3 et 6

Chapitre 2 – Conducteurs et condensateurs

Niveau 1

- Savoir qu'un conducteur possède des charges mobiles (électrons pour un métal, cas le plus fréquents, ions pour une solution ionique)
- Savoir que dans un conducteur en *équilibre électrostatique*, les charges sont immobiles
- Savoir que dans un conducteur en équilibre électrostatique le champ \vec{E} est nul
- Savoir que le potentiel électrique est constant dans un conducteur en équilibre électrostatique
- Connaître la définition de la capacité d'un condensateur $Q = C U$
- Savoir que les effets de bord sont négligeables pour un condensateur plan si son épaisseur est négligeable devant les autres dimensions des armatures
- Connaître et savoir retrouver la capacité d'un condensateur plan $C = \frac{\epsilon_0 S}{e}$, connaissant l'expression du champ électrique entre les armatures
- Exercices : question 1.1 et 1.2, exercice 3

Niveau 2

- Savoir que dans un équilibre électrostatique il n'y a pas de charge volumique, et que toutes les charges se répartissent en surface
- Connaître le théorème de Coulomb donnant le champ électrique à l'extérieur d'un conducteur $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \vec{n}_{\text{ext}}$
- Obtenir l'équation différentielle régissant l'évolution d'un circuit RC
- Connaître l'énergie stockée par un condensateur $E = \frac{1}{2} C U^2$
- Savoir que le moyen le plus direct de calculer la capacité d'un condensateur est de calculer la circulation du champ \vec{E} entre les armatures
- Exercices 1, 2, 4

Niveau 3

- Être capable de démontrer toutes les propriétés des conducteurs en équilibre électrostatique
- Savoir qu'un condensateur est constitué de deux conducteurs en influence totale l'un sur l'autre, et que les charges des deux armatures sont donc opposées
- Connaître l'expression de l'énergie volumique associée au champ électrique
- Calculer la capacité de condensateurs sphérique et cylindrique
- Exercice 5

Chapitre 3 – Conduction du courant électrique

Niveau 1

- Savoir que le courant électrique correspond à un déplacement de particules chargées
- Savoir que l'intensité correspond à un débit de charge (charge traversant une surface – par exemple la section d'un conducteur – par unité de temps)
- Savoir que dans la plupart des cas, sur une section S de conducteur, $I = j S$, avec j la norme du vecteur densité de courant
- Connaître les lois de Kirchhoff (loi des nœuds et loi des mailles)
- Connaître la loi d'Ohm $U = RI$ et la loi d'Ohm locale $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ avec σ la *conductivité* du matériau
- Savoir que la conductivité σ d'un matériau est l'inverse de sa résistivité ρ
- Savoir que pour un tronçon de conducteur ohmique $R = \frac{\rho \ell}{S} = \frac{\ell}{\sigma S}$
- Savoir que dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires les lois classiques de l'électrocinétique restent valables même si l'on n'est pas en régime permanent
- Savoir que la puissance électrique d'un dipôle l'écrit $\mathcal{P} = UI$
- Exercices 3 et 5

Niveau 2

- Connaître l'expression du vecteur densité de courant $\vec{j} = n q \vec{v}$, et savoir que l'intensité est égale au flux de ce vecteur
- Connaître l'équation locale de conservation de la charge, et savoir qu'en régime permanent on peut en déduire que le flux de \vec{j} est conservé
- Savoir refaire l'application de cours permettant de calculer la vitesse de dérive des électrons dans un conducteur parcouru par un courant
- Savoir retrouver $R = \frac{\rho \ell}{S}$ pour un tronçon de conducteur ohmique
- Savoir que l'approximation des régimes quasi-stationnaires est valable si la taille du circuit est négligeable devant la longueur d'onde de l'onde électromagnétique correspondante
- Savoir qu'en convention récepteur, si $\mathcal{P} > 0$ alors le dipôle est récepteur (puissance effectivement reçue), et si $\mathcal{P} < 0$ alors le dipôle est générateur (puissance effectivement fournie)
- Exercices 1 et 4

Niveau 3

- Retrouver l'expression du vecteur densité de courant $\vec{j} = n q \vec{v}$
- Démontrer l'équation de conservation de la charge à une dimension
- Démontrer la loi d'Ohm macroscopique à partir de la loi d'Ohm locale
- Démontrer que $\mathcal{P} = UI$ en écrivant l'énergie reçue par les porteurs de charge de la part du champ électrique
- Exercices 2 et 6

Chapitre 4 – Magnétostatique

Niveau 1

- Savoir qu'un champ magnétique est créé par des courants électriques
- Savoir que le champ magnétique créé par un fil rectiligne est orthoradial
- Savoir que le champ magnétique terrestre est de l'ordre de 5×10^{-5} T
- Savoir que le champ magnétique est perpendiculaire aux plans de symétrie pour la distribution de courant
- Savoir écrire le théorème d'Ampère sur un contour *orienté*, reliant circulation de \vec{B} et intensité traversant le contour
- Savoir que le signe de l'intensité traversant le contour d'Ampère dépend du sens choisi pour le contour
- Savoir calculer le champ magnétique créé par un fil rectiligne infini parcouru par une intensité I : $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \vec{u}_\theta$
- Exercices 1, 5, 8 et 9

Niveau 2

- Connaître l'expression de la force de Lorentz $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B})$
- Comprendre toutes les étapes de l'application du théorème d'Ampère dans le cas du champ créé par un fil infini
- Savoir calculer le champ magnétique créé à l'intérieur d'un câble non filiforme
- Savoir que le champ magnétique est continu sauf à la traversée d'une surface parcourue par des courants surfaciques
- Savoir que le champ \vec{B} est à flux conservatif (absence de « charges magnétiques »)
- Connaître la topologie du champ magnétique (formes des lignes de champ notamment) pour les distributions de courant les plus classiques
- Exercices 2, 3 et 7

Niveau 3

- Être à l'aise avec la notion de courants surfaciques
- Connaître la relation de passage pour le champ magnétique à la traversée d'un plan parcouru par des courants surfaciques
- Savoir calculer le champ créé par un solénoïde droit, sachant que le champ à l'infini est nul
- Exercices 4 et 6

Chapitre 5 – Lois de l'induction

Niveau 1

- Savoir que les phénomènes inductifs apparaissent lorsqu'il y a des *variations de flux* de \vec{B}
- Être capable d'interpréter les expériences de Faraday vues en cours
- Connaître la loi de Faraday $e = -\frac{d\Phi}{dt}$
- Savoir calculer le flux de \vec{B} dans les cas simples (\vec{B} uniforme et orthogonal à la surface considérée) : $\Phi = \pm B S$, le signe étant déterminée par l'*orientation choisie* pour le circuit
- Savoir que la force électro-motrice est une tension
- Questions 2.1 et 2.2

Niveau 2

- Savoir énoncer correctement la loi de modération de Lenz
- Savoir utiliser la loi de Lenz pour prédire sans calcul quel va être le sens des phénomènes inductifs
- Exercices 1, 3 et 7

Niveau 3

- Savoir calculer un flux de \vec{B} dans le cas où \vec{B} est non uniforme
- Connaître l'expression de Maxwell-Faraday et savoir l'intégrer pour retrouver l'équation de Faraday
- Question 2.3

Chapitre 6 – Circuit fixe dans un champ variable

Niveau 1

- Savoir que l'inductance est définie par $\Phi = LI$
- Savoir calculer l'inductance d'un solénoïde droit (application directe du cours)
- Savoir obtenir l'équation différentielle régissant l'évolution d'un circuit RL
- Questions 4.1 et 4.2

Niveau 2

- Comprendre le phénomène d'auto-induction et l'apparition d'une force *contre*-électromotrice dans une bobine
- Exercice 4

Niveau 3

- Savoir calculer l'inductance d'un solénoïde torique
- Notion de mutuelle inductance
- Expression de l'énergie volumique associée au champ magnétique
- Exercices 5 et 6

Chapitre 7 – Circuit mobile dans un champ stationnaire**Niveau 1**

- Savoir que les effets de l'induction s'opposent aux causes qui les ont créés
- Traiter le cas des rails de Laplace pour les applications vues en cours (rail lancé avec une vitesse initiale et rail en présence d'un générateur)
- Savoir que l'équation électrique s'obtient par la loi des mailles appliquée au schéma électrique équivalent (sans oublier de rajouter e)
- Savoir que l'équation mécanique s'obtient à partir du PFD (sans oublier la force de Laplace)

Niveau 2

- Pouvoir décrire avant de faire les calculs la cascade de phénomènes se produisant dans les différentes situations des rails de Laplace
- Obtenir les équations électrique et mécanique
- Savoir que le bilan de puissance s'obtient en multipliant l'équation électrique par i et l'équation mécanique par v
- Faire le TD en entier

Niveau 3

- Être capable d'interpréter les bilans de puissance
- Traiter le cas du haut-parleur électrodynamique

Chapitre 8 – Ondes électromagnétiques

Niveau 1

- Connaître les équations de Maxwell dans le vide
- Savoir que l'équation d'onde s'obtient en calculant $\text{rot}(\text{rot } \vec{E})$ et $\text{rot}(\text{rot } \vec{B})$ de deux manières différentes
- Connaître la structure d'une onde plane : \vec{E} et \vec{B} perpendiculaires à la direction de propagation et perpendiculaires entre eux
- Savoir déterminer la direction et le sens de propagation de l'onde, \vec{E} étant donné
- Savoir que le vecteur de Poynting caractérise le transport d'énergie associée à l'onde électromagnétique
- Comprendre la double périodicité des ondes progressives et savoir que $\lambda = c T$
- Connaître le domaine de longueurs d'onde correspondant à la lumière visible (400 – 800 nm)

Niveau 2

- Connaître les équations de Maxwell dans le cas général
- Savoir en déduire les équations d'onde des champs électrique et magnétique
- Connaître la relation de structure de l'onde électromagnétique $\vec{B} = \frac{\vec{n} \wedge \vec{E}}{c}$
- Connaître l'expression du vecteur de Poynting $\vec{\Pi} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{B}}{\mu_0}$
- Savoir que le flux du vecteur de Poynting à travers une surface correspond à la puissance rayonnée à travers la surface
- Savoir que lors de la réflexion d'une onde sur un métal, on peut considérer que $\vec{E} = \vec{B} = 0$
- Savoir aussi qu'il n'y a pas de charge ni de courants volumiques dans le métal
- Savoir exploiter les relations de continuité pour déterminer les champs au voisinage immédiat du métal

Niveau 3

- Savoir jongler avec les opérateurs vectoriels
- Savoir passer des formes locales des équations de Maxwell aux formes intégrales, en utilisant les théorèmes de Stokes et de Green-Ostrogradski
- Démontrer la relation de structure de l'onde électromagnétique
- Traiter entièrement la réflexion des ondes électromagnétiques sur un conducteur parfait, et déterminer notamment l'expression des courants surfaciques présents à la surface du métal

Chapitre 9 – Interférences**Niveau 1**

- Savoir que deux ondes ne peuvent interférer que dans certaines conditions : même polarisation, même source lumineuse, chemin optique parcouru peu différent
- Savoir que les récepteurs de lumière ne sont sensibles qu'à la moyenne de l'intensité lumineuse
- Savoir que deux ondes en phase vont interférer de manière constructive, et que deux ondes en opposition de phase vont interférer de manière destructive
- Connaître le dispositif des fentes d'Young
- Exercice 2

Niveau 2

- Savoir calculer la différence de marche entre les deux rayons dans le cas des fentes d'Young
- Savoir que des interférences constructives se produisent si la différence de marche correspond à un nombre entier de longueurs d'onde et qu'elles sont destructives si $\delta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$
- Exercices 1 (sauf 1.7) et 3

Niveau 3

- Savoir calculer l'interfrange dans le cas des fentes d'Young
- Question 1.7