

Colles MP2I

Trigonométrie

I Cosinus, sinus, tangente

II Cercle trigonométrique

III Représentations graphiques

IV Valeurs usuelles

V Relations entre fonctions trigonométriques

→ Utiliser le cercle trigonométrique et l'interprétation géométrique des fonctions cosinus, sinus et tangente comme aide-mémoire : relation $\cos^2 x + \sin^2 x = 1$, relations entre fonctions trigonométriques et toutes relations du type $\cos(\pi \pm x)$ et $\cos(\frac{\pi}{2} \pm x)$, parités, périodicité, valeurs des fonctions pour les angles usuels.

VI Formules d'addition et de duplication

→ Citer les formules d'addition et de duplication des cosinus et sinus ; utiliser un formulaire dans les autres cas.

Géométrie

→ Périmètre, surface et volume d'un cercle, disque, sphère, boule et cylindre

Chapitre 0 – Analyse dimensionnelle

Plan du cours

I Dimensions et unités

I.1 Définitions

I.2 Déterminer la dimension d'une grandeur

II Utiliser l'analyse dimensionnelle

II.1 Vérifier une équation

→ Contrôler l'homogénéité d'une expression, notamment par référence à des expressions connues.

II.2 Un moyen mnémotechnique

II.3 Estimer un résultat

→ Déterminer les exposants d'une expression de type monôme $E = A^\alpha B^\beta C^\gamma$ par analyse dimensionnelle.

Questions de cours

→ Indiquer les sept dimensions et unités du système international (nom et symbole).

→ Déterminer la dimension et l'unité d'une grandeur à partir d'une expression simple.

→ Vérifier l'homogénéité d'une relation simple.

Chapitre O1 – Optique géométrique

Plan du cours

I Description de la lumière

I.1 Différentes sources de lumière

- Caractériser une source lumineuse par son spectre.
- Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.

I.2 Source ponctuelle monochromatique

I.3 Milieux optiques

I.4 Modèle de l'optique géométrique

- Définir le modèle de l'optique géométrique.
- Indiquer les limites du modèle de l'optique géométrique.

II Réflexion, réfraction

II.1 Lois de Snell-Descartes

II.2 Réflexion totale

- Établir la condition de réflexion totale.

II.3 Fibre à saut d'indice

- Établir les expressions du cône d'acceptance et de la dispersion intermodale d'une fibre à saut d'indice.

Questions de cours

- Décrire, représenter et comparer les spectres du Soleil, d'une lampe spectrale et d'un laser.
- Indiquer les caractéristiques d'une onde monochromatique qui sont préservées lors d'un changement de milieu et celles qui sont modifiées. Définir l'indice optique du milieu.
- Énoncer avec précision (donc avec schéma!) les lois de la réflexion et de la réfraction.
- Faire un schéma correspondant à la limite de réfraction et établir l'expression de l'angle limite de réflexion totale.
- Fibre optique : cône d'acceptance.
- Fibre optique : dispersion intermodale.

Chapitre O2 – Formation d'images

Plan du cours

I Image d'un objet par un miroir plan

I.1 Miroir plan

→ Construire l'image d'un objet par un miroir plan.

I.2 Vocabulaire

II Lentilles minces

II.1 Description d'une lentille mince

II.2 Construction de l'image d'un objet

→ Exploiter les propriétés du centre optique, des foyers principaux et secondaires, de la distance focale, de la vergence.

→ Construire l'image d'un objet situé à distance finie ou infinie à l'aide de rayons lumineux, identifier sa nature réelle ou virtuelle.

II.3 Relations de conjugaison

→ Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement transversal de Descartes et de Newton.

→ Établir et utiliser la condition de formation de l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.

III Exemple de systèmes optiques

III.1 Système optique composé

III.2 L'œil

→ Modéliser l'œil comme l'association d'une lentille de vergence variable et d'un capteur plan fixe.

→ Citer les ordres de grandeur de la limite de résolution angulaire et de la plage d'accommodation.

III.3 La lunette astronomique

→ Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire.

→ Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.

→ Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale.

→ Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale.

Questions de cours

- Présenter le modèle d'une lentille mince : schéma, propriété du centre optique et des foyers.
- Énoncer les relations de conjugaison et de grandissement avec origine au centre (de Descartes), schéma à l'appui.
- Établir, schéma optique à l'appui, la condition de formation d'une l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.
- Établir la condition sur la distance entre un objet réel et un écran permettant d'obtenir une image nette à l'aide d'une lentille convergente.
- Présenter le modèle simplifié de l'œil et donner ses limites (plage d'accommodation et limite de résolution) et application.
- Présenter le modèle de la lunette astronomique et établir l'expression du grossissement.
- Représenter la marche des rayons à travers la lunette afocale.

Chapitre O3 – Propagation d'un signal

Plan du cours

I Exemples de signaux

- Identifier les grandeurs physiques correspondant à des signaux acoustiques, électriques, électromagnétiques.

II Onde progressive à une dimension

II.1 Expression d'une onde progressive

- Écrire les signaux sous la forme $f(t - x/c)$ ou $g(t + x/c)$.
- Écrire les signaux sous la forme $F(x - ct)$ ou $G(x + ct)$.
- Prévoir, dans le cas d'une onde progressive, l'évolution temporelle à position fixée et l'évolution spatiale à différents instants.

II.2 Onde progressive sinusoïdale

- Citer quelques ordres de grandeur de fréquences dans les domaines acoustique, mécanique et électromagnétique.
- Établir la relation entre la fréquence, la longueur d'onde et la vitesse de phase.
- Relier le déphasage entre les signaux perçus en deux points distincts au retard dû à la propagation.

III Diffraction

III.1 Observations expérimentales

- Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes.

III.2 Caractérisation du phénomène de diffraction

- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture.

IV Interférences

IV.1 Superposition de deux ondes

- Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.
- Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.

IV.2 Interférences lumineuses

- Déterminer les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous d'Young.
- Relier le déphasage entre les deux ondes à la différence de chemin optique.
- Établir l'expression littérale de la différence de chemin optique linéarisée entre les deux ondes.
- Établir l'expression de l'interfrange.

Questions de cours

- Donner l'expression générale d'une onde progressive à une dimension, sinusoïdale ou non, se propageant dans une direction et un sens donnés.
- Prévoir l'évolution temporelle ou spatiale d'une onde dont la forme est donnée (App. 1).
- En s'appuyant sur un schéma, donner l'expression de l'ordre de grandeur de l'angle caractéristique de diffraction.
- Donner les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de sources ponctuelles.
- Établir l'expression de la différence de chemin optique dans le cas des trous d'Young (App. 6).

Chapitre E1 – Circuits électriques

Plan du cours

- I** Description d'un circuit électrique
- II** Grandeurs électriques
 - II.1** Charge et courant électrique
 - Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges.
 - Utiliser la loi des nœuds.
 - II.2** Potentiel électrique et tension
 - Utiliser la loi des mailles.
 - II.3** Puissance et énergie
 - Algébriser les grandeurs électriques et utiliser les conventions récepteur et générateur.
 - Citer les ordres de grandeur d'intensités, de tensions et de puissances dans différents domaines d'application.
- III** Dipôles électriques
 - III.1** Conducteur ohmique : comportement résistif
 - Exprimer la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance.
 - Remplacer une association série ou parallèle de deux résistances par une résistance équivalente.
 - Exploiter des ponts diviseurs de tension ou de courant.
 - III.2** Condensateur idéal : comportement capacitif
 - Établir l'expression de l'énergie stockée dans un condensateur.
 - Exploiter l'expression fournie de la capacité d'un condensateur en fonction de ses caractéristiques.
 - III.3** Bobine idéal : comportement inductif
 - Établir l'expression de l'énergie stockée dans une bobine.
 - III.4** Générateur
 - Modéliser une source en utilisant la représentation de Thévenin.

Questions de cours

- Donner les ordres de grandeur typiques de tensions, courants et puissances dans différents domaines d'application.
- Citer les lois de comportement d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine accompagnées du schéma indiquant le choix des conventions.
- Établir l'expression de la puissance dissipée par effet Joule dans une résistance et/ou l'énergie stockée dans un condensateur ou une bobine.
- Donner le modèle de Thévenin d'un générateur réel et établir sa loi de comportement.
- Énoncer et démontrer les expressions des résistances équivalentes aux associations série et/ou parallèle.
- Énoncer et démontrer la relation du diviseur de tension et/ou de courant.

Chapitre E2 – Circuits du premier ordre

Plan du cours

I Approche expérimentale

II Décharge du condensateur

II.1 Équation différentielle

→ Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur.

II.2 Évolution de la tension aux bornes du condensateur

→ Déterminer en fonction du temps la tension aux bornes d'un condensateur dans le cas de sa charge et de sa décharge.

II.3 Temps caractéristique

→ Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

II.4 Bilan énergétique

→ Réaliser un bilan énergétique sur le circuit RC série.

III Charge du condensateur

III.1 Évolution de la tension aux bornes du condensateur

III.2 Bilan énergétique

IV Cas du circuit RL

→ Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par l'intensité du courant dans un circuit RL.

→ Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire.

→ Réaliser un bilan énergétique sur le circuit RL série.

Questions de cours

- Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur, ou par l'intensité du courant traversant une bobine.
- Résoudre ces équations dans le cas d'une charge ou d'une décharge.
- Justifier par un raisonnement énergétique la continuité de la tension aux bornes du condensateur, de l'intensité du courant traversant une bobine.
- Donner la valeur du temps caractéristique du régime transitoire pour un circuit RC ou un circuit RL.
- Réaliser un bilan énergétique sur le circuit RC ou le circuit RL.

Plutôt que des questions de cours, il s'agit ici davantage de méthodes qu'il faut être capable d'appliquer rapidement. Inutile d'apprendre par cœur les résultats ! À l'exception de l'expression du temps caractéristique qui, lui, est à connaître par cœur.

Chapitre E3 – Circuits du deuxième ordre

Plan du cours

I Approche expérimentale et numérique

II Circuit LC : modèle de l'oscillateur harmonique

II.1 Équation différentielle

→ Établir l'équation différentielle qui caractérise l'évolution d'une grandeur électrique dans un circuit LC.

II.2 Résolution

→ La résoudre compte-tenu des conditions initiales.

II.3 Conservation de l'énergie

→ Réaliser un bilan énergétique pour le circuit LC.

III Circuit RLC, modèle de l'oscillateur amorti

III.1 Équation différentielle

→ Écrire sous forme canonique l'équation différentielle qui caractérise l'évolution d'une grandeur électrique dans un circuit RLC afin d'identifier la pulsation propre et le facteur de qualité.

III.2 Différents régimes de fonctionnement

→ Identifier la nature de la réponse libre en fonction de la valeur du facteur de qualité.

III.3 Résolution d'une équation différentielle du second ordre

→ Déterminer la réponse dans le cas d'un régime libre ou indiciel en recherchant les racines du polynôme caractéristique et en tenant compte des conditions initiales.

→ Déterminer un ordre de grandeur de la durée du régime transitoire selon la valeur du facteur de qualité.

III.4 Bilan énergétique

→ Réaliser un bilan énergétique pour un circuit RLC série.

Questions de cours

- Établir l'équation différentielle vérifiée par une des grandeurs électriques dans un circuit LC.
- Résoudre cette équation pour des conditions initiales données.
- À partir de l'expression analytique d'une solution donnée par le colleur, représenter graphiquement l'évolution temporelle de cette solution, en faisant apparaître la période, l'amplitude et la valeur moyenne, ainsi que leur lien avec l'expression analytique.
- Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur d'un RLC série et la résoudre.
- Écrire, sans démonstration, la forme canonique d'une équation différentielle d'oscillateur amorti. Lister les différentes formes que peuvent prendre les solutions en fonction de la valeur du facteur de qualité.

Chapitre E4 – Régime sinusoïdal forcé

Plan du cours

I Régime sinusoïdal forcé

- I.1 Observations expérimentales
- I.2 Représentation complexe d'un signal
- I.3 Utilisation de la notation complexe

II Impédance complexe

- II.1 Impédance des dipôles usuels
 - Établir l'expression de l'impédance d'une résistance, d'un condensateur, d'une bobine.
- II.2 Associations d'impédances
 - Remplacer une association série ou parallèle de deux impédances par une impédance équivalente.

III Résonances dans un circuit RLC

- III.1 Résonance en intensité
 - Utiliser la représentation complexe pour étudier le régime forcé.
 - Relier l'acuité d'une résonance au facteur de qualité.
- III.2 Résonance en tension aux bornes du condensateur
- III.3 Analyse de relevés expérimentaux
 - Déterminer la pulsation propre et le facteur de qualité à partir de graphes expérimentaux d'amplitude et de phase.
- III.4 Analogie électromécanique

Questions de cours

- Donner puis retrouver l'impédance complexe d'une résistance, d'un condensateur et/ou d'une bobine. Indiquer les équivalences en basse fréquence et haute fréquence.
- Calculer l'impédance équivalente d'une association quelconque (dans la limite du raisonnable) de résistances condensateur et/ou bobine.
- Obtenir l'expression de l'amplitude complexe de l'intensité du courant ou de la tension aux bornes du condensateur dans un circuit RLC alimenté par une tension sinusoïdale.
- Tracer l'allure des courbes d'amplitude pour la résonance en courant ou en tension d'un RLC, et ce pour différentes valeurs « bien choisies » du facteur de qualité. Le comportement dans les limites basse et haute fréquence est à justifier par une analyse en circuits équivalents.
- Rappeler sans démonstration le lien entre la largeur de la résonance et le facteur de qualité dans le cas de la résonance en intensité.

Chapitre E5 – Filtrage linéaire

Plan du cours

I Signaux périodiques

I.1 Valeur moyenne

I.2 Valeur efficace

→ Définir la valeur moyenne et la valeur efficace d'un signal périodique.

→ Calculer la valeur efficace d'un signal sinusoïdal.

I.3 Spectre d'un signal

→ Analyser la décomposition fournie d'un signal périodique en une somme de fonctions sinusoïdales.

II Filtrage linéaire d'un signal périodique

II.1 Filtre linéaire

II.2 Fonction de transfert

II.3 Filtrage linéaire d'un signal périodique

→ Utiliser une fonction de transfert donnée d'ordre 1 ou 2 (ou ses représentations graphiques) pour étudier la réponse d'un système linéaire à une excitation sinusoïdale, à une somme finie d'excitations sinusoïdales, à un signal périodique.

II.4 Lien avec la représentation temporelle

III Diagramme de Bode

III.1 Gain et phase

III.2 Pulsation de coupure

III.3 Diagramme de Bode asymptotique

→ Utiliser les échelles logarithmiques et interpréter les comportements asymptotiques des diagrammes de Bode en amplitude d'après l'expression de la fonction de transfert.

IV Différents types de filtres

IV.1 Filtres du premier ordre

→ Tracer le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1.

→ Choisir un modèle de filtre en fonction d'un cahier des charges.

IV.2 Filtres d'ordre supérieur

Questions de cours

- Donner la définition de la valeur moyenne et de la valeur efficace d'un signal périodique $s(t)$. Donner, puis retrouver la valeur moyenne de $\cos^2(\omega t)$ ou $\sin^2(\omega t)$.
- Représenter le diagramme de Bode (amplitude et phase) associé à une fonction de transfert d'ordre 1 donné par le colleur.
- Établir l'expression et/ou le spectre du signal de sortie d'un filtre dont la fonction de transfert ou le diagramme de Bode est donné, pour une entrée dont l'expression ou le spectre est donné (App. ?? et ??).
- Donner la forme canonique de la fonction de transfert d'un filtre passe-bas et/ou passe-haut du premier ordre (Doc. ??).

Chapitre M1 – Cinématique du point matériel

Plan du cours

I Description classique du mouvement d'un point matériel

I.1 Référentiel

→ Citer une situation où la description classique de l'espace ou du temps est prise en défaut.

I.2 Relativité du mouvement

I.3 Position, vitesse et accélération

II Systèmes de coordonnées

→ Exprimer à partir d'un schéma le déplacement élémentaire dans les différents systèmes de coordonnées, construire le trièdre local associé et en déduire géométriquement les composantes du vecteur vitesse en coordonnées cartésiennes et cylindriques.

→ Établir les expressions des composantes des vecteurs position, déplacement élémentaire, vitesse et accélération dans les seuls cas des coordonnées cartésiennes et cylindriques.

II.1 Coordonnées cartésiennes

II.2 Coordonnées cylindriques

II.3 Coordonnées sphériques

III Exemples de mouvements

III.1 Mouvement rectiligne

→ Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré.

III.2 Mouvement à vecteur d'accélération constant

→ Exprimer le vecteur vitesse et le vecteur position en fonction du temps et établir l'expression de la trajectoire en coordonnées cartésiennes dans le cas où le vecteur accélération est constant.

III.3 Mouvement circulaire

→ Exprimer les composantes du vecteur position, du vecteur vitesse et du vecteur accélération en coordonnées polaires planes dans le cas d'un mouvement circulaire.

→ Repère de Frenet : caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : circulaire, circulaire uniforme et faire le lien avec les composantes polaires de l'accélération.

Questions de cours

- Sur un schéma, définir les bases locales associées aux repères cartésien, polaire, cylindrique, de Frenet et sphérique.
- Établir l'expression du vecteur déplacement élémentaire dans les systèmes de coordonnées cartésiennes, cylindrique ou sphérique et en déduire l'expression du vecteur vitesse.
- Donner l'expression des dérivées temporelles des vecteurs de la base cylindrique et en déduire l'expression des vecteurs vitesse et accélération.
- Dans le cas d'un mouvement circulaire, donner puis établir les composantes du vecteur accélération dans la base de Frenet à partir des expressions de \vec{v} et \vec{a} dans la base polaire.
- Établir les équations horaires et les équations de la trajectoire dans le cas d'un mouvement rectiligne, à accélération constante ou circulaire.

Chapitre M2 – Dynamique du point matériel

Plan du cours

I Quantité de mouvement

I.1 Masse d'un système

→ Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système, cette position étant donnée.

I.2 Quantité de mouvement

→ Utiliser la relation entre la quantité de mouvement d'un système et la vitesse de son centre de masse.

II Lois de Newton

II.1 Première loi : principe d'inertie

→ Décrire le mouvement relatif de deux référentiels galiléens.

→ Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié.

II.2 Troisième loi : principe des actions réciproques

→ Établir un bilan des forces sur un système ou sur plusieurs systèmes en interaction et en rendre compte sur un schéma.

II.3 Deuxième loi : principe fondamental de la dynamique

→ Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées.

III Exemples classiques

III.1 Chute libre

→ Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme : établir et exploiter les équations horaires du mouvement, établir l'équation de la trajectoire.

III.2 Chute dans un fluide

→ Exploiter une équation différentielle sans la résoudre analytiquement, par exemple : analyse en ordres de grandeur, existence d'une vitesse limite, écriture adimensionnée, utilisation des résultats obtenus par simulation numérique.

III.3 Système masse-ressort : l'oscillateur harmonique

→ Système masse-ressort sans frottement : déterminer et résoudre l'équation différentielle du mouvement, exploiter les analogies avec un oscillateur harmonique électrique.

III.4 Pendule simple

→ Établir l'équation du mouvement du pendule simple. Justifier le caractère harmonique des oscillations de faible amplitude.

Questions de cours

- Énoncer les lois de Newton : principe d'inertie, principe fondamental de la dynamique et principe des actions réciproques.
- En s'appuyant sur un schéma, énoncer avec précision une des lois de force suivantes : poids, poussée d'Archimède, force de rappel associée à un ressort, tension d'un fil, réaction du support, interaction gravitationnelle, interaction électrostatique.
- Appliquer la méthode de résolution décrite dans le Doc. 3 pour obtenir les équations horaires du mouvement.
- Les exemples vus en cours doivent pouvoir être traités très rapidement.

Chapitre M3 – Énergie mécanique

Plan du cours

I Théorème de l'énergie cinétique

I.1 Puissance d'une force

→ Reconnaître le caractère moteur ou résistant d'une force.

I.2 Travail d'une force

I.3 Théorème de l'énergie cinétique

→ Exploiter le théorème de l'énergie cinétique.

II Énergie potentielle, énergie mécanique

II.1 Force conservative et énergie potentielle

II.2 Exemples de forces conservatives

→ Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme), de l'énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel), de l'énergie potentielle élastique.

II.3 Lien entre une énergie potentielle et une force conservative

→ Dédire qualitativement du graphe d'une fonction énergie potentielle le sens et l'intensité de la force associée pour une situation à un degré de liberté.

II.4 Théorème de l'énergie mécanique

III Mouvement conservatif à une dimension

III.1 Mouvement conservatif

→ Exploiter la conservation de l'énergie mécanique pour analyser un mouvement.

III.2 Profil d'énergie potentielle

→ Identifier sur un graphe d'énergie potentielle une barrière et un puits de potentiel.

→ Dédire d'un graphe d'énergie potentielle le comportement qualitatif : trajectoire bornée ou non, mouvement périodique, positions de vitesse nulle.

III.3 Approximation harmonique

→ Dédire d'un graphe d'énergie potentielle l'existence de positions d'équilibre.

→ Analyser qualitativement la nature, stable ou instable, de ces positions.

→ Établir l'équation différentielle linéarisée du mouvement au voisinage d'une position d'équilibre.

Questions de cours

- Citer les théorèmes de la puissance cinétique et de l'énergie cinétique.
- Citer, puis établir les expressions des énergies potentielles de pesanteur, gravitationnelle et élastique.
- Citer les théorèmes de la puissance mécanique et de l'énergie mécanique.
- Identifier, sur un graphe d'énergie potentielle quelconque les positions d'équilibre stables et instables, les barrières et puits de potentiels.
- Décrire qualitativement (par exemple, à l'aide d'un graphe commenté) l'évolution temporelle d'un système suivant son énergie mécanique, à partir d'un profil quelconque d'énergie potentielle.
- Établir l'équation différentielle linéarisée du pendule simple en utilisant le théorème de l'énergie mécanique.

Note aux colleurs : l'opérateur $\overrightarrow{\text{grad}}$ n'est pas au programme de MP2I et ne sera introduit qu'en deuxième année. En particulier, la relation $\overrightarrow{F} = -\overrightarrow{\text{grad}}\mathcal{E}_p$ se restreint au cas à un degré de liberté, où $\overrightarrow{F} = -\frac{d\mathcal{E}_p}{dx}\overrightarrow{e}_x$.

Chapitre M4 – Mouvement d'une particule chargée dans un champ électromagnétique

Plan du cours

I Force de Lorentz

I.1 Champ électromagnétique

I.2 Force de Lorentz

→ Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.

I.3 Puissance de la force de Lorentz

→ Justifier qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.

II Mouvement dans un champ électrique

II.1 Potentiel électrostatique

→ Effectuer un bilan énergétique pour déterminer la valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.

II.2 Équation du mouvement

→ Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant.

III Mouvement dans un champ magnétique

III.1 Expérimentations

III.2 Rayon de la trajectoire

→ Déterminer le rayon de la trajectoire sans calcul en admettant que celle-ci est circulaire.

Questions de cours

- Donner l'expression de la force de Lorentz en s'appuyant sur un schéma et en donnant les unités des grandeurs.
- Représenter sur un schéma la force de Lorentz associée à une configuration donnée par le colleur.
- Déterminer le rayon de la trajectoire circulaire d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme et stationnaire, orthogonal à la vitesse.

Chapitre M5 – Moment cinétique

Plan du cours

I Moment cinétique

I.1 Par rapport à un point

I.2 Par rapport à un axe

→ Relier la direction et le sens du vecteur moment cinétique aux caractéristiques du mouvement.

II Moment d'une force

II.1 Par rapport à un point

II.2 Par rapport à un axe

II.3 Bras de levier

→ Calculer le moment d'une force par rapport à un axe orienté en utilisant le bras de levier.

III Théorème du moment cinétique

→ Identifier les cas de conservation du moment cinétique.

Questions de cours

- Définir le moment cinétique d'un point matériel par rapport à un point et/ou à un axe et relier sa direction, son sens et/ou son signe aux caractéristiques du mouvement.
- Définir le moment d'une force par rapport à un point et/ou un axe et l'exprimer en fonction du bras de levier.
- Énoncer le théorème du moment cinétique par rapport à un point fixe et/ou un axe fixe pour un point matériel.
- Établir l'équation différentielle associée au pendule simple en utilisant le TMC/TMCS.

Chapitre M6 – Mouvement dans un champ de gravitation newtonien

Plan du cours

I Position du problème

I.1 Lois de Kepler

I.2 Champ de gravitation newtonien

II Caractère central de la force

II.1 Conservation du moment cinétique

→ Établir la conservation du moment cinétique à partir du théorème du moment cinétique.

II.2 Planéité du mouvement

→ Établir les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan.

II.3 Loi des aires

→ Établir les conséquences de la conservation du moment cinétique : loi des aires.

III Caractère conservatif de la force

III.1 Conservation de l'énergie mécanique

→ Exprimer l'énergie mécanique d'un système conservatif ponctuel à partir de l'équation du mouvement.

III.2 Énergie potentielle effective

→ Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective.

III.3 Nature des trajectoires

→ Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective.

→ Relier le caractère borné du mouvement radial à la valeur de l'énergie mécanique.

IV Cas du mouvement circulaire

IV.1 Vecteurs vitesse et accélération

→ Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation newtonien.

IV.2 Période

→ Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire.

IV.3 Satellite géostationnaire

Questions de cours

- Énoncer les trois lois de Kepler.
- Établir la conservation du moment cinétique et expliciter ses conséquences (planéité du mouvement et loi des aires).
- Établir l'expression de l'énergie potentielle effective, la représenter graphiquement et discuter des différentes trajectoires possibles en fonction de la valeur de l'énergie mécanique.
- Établir l'expression de la vitesse dans le cas d'une trajectoire circulaire de rayon r_0 .
- Énoncer, puis établir la troisième loi de Kepler dans le cas d'une orbite circulaire.
- Donner les caractéristiques de l'orbite géostationnaire.

Chapitre M7 – Mouvement d'un solide

Plan du cours

I Cinématique du solide

I.1 Description d'un solide

→ Différencier un solide d'un système déformable.

I.2 Translation

→ Reconnaître et décrire une translation rectiligne ainsi qu'une translation circulaire.

I.3 Rotation

→ Décrire la trajectoire d'un point quelconque du solide et exprimer sa vitesse en fonction de sa distance à l'axe et de la vitesse angulaire.

II Moment cinétique

II.1 Moment d'inertie

→ Exploiter, pour un solide, la relation entre le moment cinétique scalaire, la vitesse angulaire de rotation et le moment d'inertie fourni.

→ Relier qualitativement le moment d'inertie à la répartition des masses.

II.2 Couple

→ Définir un couple.

→ Définir une liaison pivot et justifier le moment qu'elle peut produire.

II.3 Théorème du moment cinétique

→ Exploiter le théorème scalaire du moment cinétique appliqué au solide en rotation autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen.

III Approche énergétique

III.1 Énergie cinétique

→ Utiliser l'expression de l'énergie cinétique, l'expression du moment d'inertie étant fournie.

III.2 Puissance d'une force

III.3 Théorème de l'énergie cinétique

→ Établir, dans le cas d'un solide en rotation dans autour d'un axe fixe, l'équivalence entre le théorème scalaire du moment cinétique et celui de l'énergie cinétique.

Questions de cours

- Énoncer le théorème du moment cinétique par rapport à un axe fixe pour un solide en rotation.
- Énoncer le théorème de l'énergie cinétique pour un solide en rotation autour d'un axe fixe et montrer qu'il est équivalent à la loi du moment cinétique scalaire.
- Établir l'équation du mouvement du pendule pesant par application du théorème du moment cinétique et/ou avec le théorème de l'énergie cinétique.

Chapitre T1 – Description d'un système thermodynamique

Plan du cours

I Descriptions microscopiques et macroscopiques

I.1 Solide, liquide et gaz

I.2 Échelles microscopique et macroscopique

→ Préciser les paramètres nécessaires à la description d'un état microscopique et d'un état macroscopique sur un exemple.

II Description d'un système thermodynamique

II.1 Système thermodynamique

II.2 Variables d'état

II.3 Température et pression

→ Relier qualitativement les valeurs des grandeurs macroscopiques aux propriétés du système à l'échelle microscopique.

II.4 Équilibre thermodynamique

III Modèle du gaz parfait

III.1 Équation d'état

→ Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz.

III.2 Énergie interne

→ Exploiter l'expression de la variation de l'énergie interne d'un gaz considéré comme parfait.

IV Phase condensée

→ Exploiter l'expression de la variation de l'énergie interne d'un système considéré incompressible et indilatable en fonction de sa température.

Questions de cours

- Présenter le modèle du gaz parfait et/ou d'une phase condensée indilatable et incompressible et énoncer leurs équations d'état.
- Donner la définition de la capacité thermique à volume constant et de ses équivalents molaire et massique.
- Retrouver l'expression de la capacité thermique molaire à volume constant d'un gaz parfait monoatomique.
- Citer la valeur de la capacité thermique massique de l'eau.

Chapitre T2 – Bilans d'énergie, premier principe de la thermodynamique

Plan du cours

I Conservation de l'énergie lors d'une transformation

I.1 Transformation thermodynamique

→ Exploiter les conditions imposées par le milieu extérieur pour déterminer l'état d'équilibre final.

I.2 Énergie du système

→ Citer les différentes contributions microscopiques et macroscopiques à l'énergie d'un système.

I.3 Premier principe

→ Analyser qualitativement les différents termes intervenant dans l'écriture du premier principe.

II Transfert d'énergie : travail

II.1 Travail des forces de pression

→ Évaluer un travail par découpage en travaux élémentaires et sommation sur un chemin donné dans le cas d'une seule variable.

II.2 Diagramme de Clapeyron

→ Interpréter géométriquement le travail des forces de pression dans un diagramme de Clapeyron.

III Transfert thermique

III.1 Différents modes de transferts thermiques

→ Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : conduction, convection, rayonnement.

III.2 Flux thermique

→ Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température, l'expression de la résistance thermique étant donnée.

IV Bilan d'énergie

IV.1 Enthalpie

→ Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et dans l'état final.

→ Exprimer l'enthalpie $H_m(T)$ du gaz parfait à partir de l'énergie interne.

→ Citer l'ordre de grandeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide.

IV.2 Calorimétrie

→ Conduire un bilan d'énergie sur un système modélisé par un gaz parfait ou par une phase condensée incompressible et indilatable.

IV.3 Loi de Newton

→ Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible et indilatable en contact avec un thermostat : établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température du système.

Questions de cours

- Définir le vocabulaire usuel des transformations : isochore, isotherme, isobare, monobare, monotherme, adiabatique.
- Énoncer le premier principe en définissant soigneusement tous les termes.
- Définir l'enthalpie d'un système et donner ses propriétés. Exprimer le premier principe sous forme de bilan d'enthalpie dans le cas d'une transformation monobare avec équilibre mécanique dans l'état initial et l'état final.
- Dans le cas d'un gaz parfait, exprimer C_p et/ou C_v à partir du coefficient isentropique γ et de la relation de Mayer.
- Définir la résistance thermique d'un matériau en introduisant soigneusement les grandeurs utilisées (schéma!) et leurs unités.
- Donner la valeur de la capacité thermique massique de l'eau.

Chapitre T3 – Deuxième principe

Plan du cours

I Deuxième principe

I.1 Réversibilité et irréversibilité

I.2 Causes d'irréversibilité

→ Relier la création d'entropie à une ou plusieurs causes physiques de l'irréversibilité.

I.3 Bilan d'entropie

→ Définir un système fermé et établir pour ce système un bilan entropique.

II Fonction d'état entropie

II.1 Entropie d'un gaz parfait

→ Analyser le cas particulier d'un système en évolution adiabatique.

→ Citer et utiliser la loi de Laplace et ses conditions d'application.

II.2 Entropie d'une phase condensée

III Exemples

→ Utiliser l'expression fournie de la fonction d'état entropie.

→ Exploiter l'extensivité de l'entropie.

III.1 Détente de Joule – Gay-Lussac

III.2 Chauffage par effet Joule

Questions de cours

- Énoncer complètement le second principe : propriétés de l'entropie, bilan d'entropie et expliciter les différents termes.
- Citer la loi de Laplace pour un gaz parfait et ses conditions d'application. L'établir, l'expression de l'entropie d'un GP étant donnée.
- Application : mise en contact de deux systèmes à des températures différentes (App. ??).
- Application : détente de Joule – Gay-Lussac (App. ??).
- Application : effet Joule (App. ??).

Note aux colleurs : les expressions de l'entropie d'un GP ou d'une PCII ne sont pas exigibles et doivent être redonnées.

Chapitre T4 – Transition de phase

Plan du cours

I Corps pur diphasé

I.1 Vocabulaire

I.2 Diagramme de phase (P, T)

→ Analyser un diagramme de phase expérimental (P, T).

→ Proposer un jeu de variables d'état suffisant pour caractériser l'état d'équilibre d'un corps pur diphasé soumis aux seules forces de pression.

→ Positionner les phases dans les diagrammes (P, T) et (P, v).

I.3 Cas de l'eau dans une atmosphère inerte

II Équilibre liquide – vapeur

II.1 Diagramme de Clapeyron

→ Positionner les phases dans les diagrammes (P, T) et (P, v).

II.2 Titre en vapeur

→ Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P, v).

III Bilans

III.1 Bilan d'énergie

→ Exploiter l'extensivité de l'enthalpie et réaliser des bilans énergétiques en prenant en compte des transitions de phases.

III.2 Bilan d'entropie

→ Exploiter la relation entre les variations d'entropie et d'enthalpie associées à une transition de phase.

Questions de cours

- Tracer l'allure générale d'un diagramme (P, T) et y placer les phases. Nommer les lignes et les points particuliers.
- Tracer l'allure générale d'un diagramme de Clapeyron (P, v) pour un équilibre liquide – vapeur et y placer les phases. Nommer les lignes et le point particuliers. Tracer l'allure de quelques isothermes.
- Énoncer le théorème des moments et expliquer son interprétation graphique dans le diagramme de Clapeyron.
- Conduire un bilan d'énergie et/ou d'entropie simple pour un système qui subit une transition de phase.

Chapitre T5 – Machines thermiques

Plan du cours

I Machine thermique

I.1 Machine thermique ditherme

I.2 Diagramme de Clapeyron

- Donner le sens des échanges énergétiques pour un moteur ou un récepteur thermique ditherme.
- Analyser un dispositif concret et le modéliser par une machine cyclique ditherme.
- Définir un rendement ou une efficacité et les relier aux énergies échangées au cours d'un cycle. Justifier et utiliser le théorème de Carnot.
- Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.
- Expliquer le principe de la cogénération.

II Moteur ditherme

II.1 Impossibilité d'un moteur thermique monotherme

II.2 Sens réel des échanges d'énergie

II.3 Rendement

III Récepteur ditherme

III.1 Sens réel des échanges d'énergie

III.2 Efficacité

III.3 Pompe à chaleur

Questions de cours

- Donner le sens réel des échanges d'énergie dans un moteur, une pompe à chaleur, un réfrigérateur.
- Citer quelques ordres de grandeur des rendements des machines thermiques réelles actuelles.
- Définir le rendement ou l'efficacité de chaque type de machine en fonction des énergies échangées au cours du cycle et établir la formulation associée au théorème de Carnot.

Chapitre I1 – Champ magnétique

Plan du cours

I Champ magnétique

I.1 Représentation graphique d'un champ magnétique

- Exploiter une représentation graphique d'un champ vectoriel, identifier les zones de champ uniforme, de champ faible et l'emplacement des sources.

I.2 Sources de champ magnétique

- Tracer l'allure des cartes de champs magnétiques pour un aimant droit, une spire circulaire et une bobine longue.
- Citer des ordres de grandeur de champs magnétiques : au voisinage d'aimants, dans un appareil d'IRM, dans le cas du champ magnétique terrestre.
- Évaluer l'ordre de grandeur d'un champ magnétique à partir d'expressions fournies.

I.3 Obtention d'un champ uniforme

- Décrire un dispositif permettant de réaliser un champ magnétique quasi uniforme.

II Moment magnétique

II.1 Moment magnétique d'une boucle de courant

- Définir le moment magnétique associé à une boucle de courant plane.

II.2 Moment magnétique d'un aimant

- Associer à un aimant un moment magnétique par analogie avec une boucle de courant.
- Citer un ordre de grandeur du moment magnétique associé à un aimant usuel.

III Action d'un champ magnétique

III.1 Force de Laplace

- Différencier le champ magnétique extérieur subi du champ magnétique propre créé par le courant filiforme.
- Établir et exploiter l'expression de la résultante et de la puissance des forces de Laplace dans le cas d'une barre conductrice placée dans un champ magnétique extérieur uniforme et stationnaire.
- Exprimer la puissance des forces de Laplace.

III.2 Couple magnétique

- Établir et exploiter l'expression du moment du couple subi en fonction du champ magnétique extérieur et du moment magnétique.
- Exprimer la puissance des actions mécaniques de Laplace.

III.3 Action d'un champ magnétique sur un aimant

Questions de cours

- Représenter les lignes de champ au voisinage d'une spire, d'une bobine longue, d'un aimant.
- Expliquer comment s'identifie une zone de champ uniforme sur une carte de champ magnétique et décrire un dispositif permettant de réaliser un tel champ.
- En s'appuyant sur un schéma, donner l'expression de la force de Laplace qui s'exerce sur un élément de fil conducteur de longueur $d\ell$.
- Établir les expressions de la résultante et de la puissance des force de Laplace pour une barre conductrice dans un champ magnétique uniforme (App. ??).
- Établir l'expression du moment du couple subi par une spire rectangulaire (App. ??).

Chapitre I2 – Induction électromagnétique

Plan du cours

I Lois de l'induction

I.1 Approche expérimentale

I.2 Flux magnétique

- Évaluer le flux d'un champ magnétique uniforme à travers une surface s'appuyant sur un contour fermé orienté plan.

I.3 Lois de l'induction

- Utiliser la loi de Lenz pour prédire ou interpréter les phénomènes physiques observés.
- Utiliser la loi de Faraday en précisant les conventions d'algébrisation.

II Circuit fixe dans un champ magnétique variable

II.1 Auto-induction

- Différencier le flux propre des flux extérieurs.
- Utiliser la loi de modulation de Lenz pour un système soumis à un effet auto-inductif.
- Évaluer et citer l'ordre de grandeur de l'inductance propre d'une bobine de grande longueur.
- Réaliser un bilan de puissance et d'énergie dans un système siège d'un phénomène d'auto-induction en s'appuyant sur un schéma électrique équivalent.

II.2 Inductance mutuelle

- Déterminer l'inductance mutuelle entre deux bobines de même axe de grande longueur en « influence totale ».

II.3 Circuits électriques couplés par inductance mutuelle en RSF

- Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
- Établir le système d'équations en régime sinusoïdal forcé régissant le comportement de deux circuits électriques à une maille couplés par mutuelle induction en s'appuyant sur des schémas électriques équivalents.
- Réaliser un bilan de puissance et d'énergie.

III Conversion de puissance électromécanique

III.1 Rails de Laplace générateur

- Interpréter qualitativement les phénomènes observés dans un système de conversion de puissance.
- Écrire les équations électrique et mécanique en précisant les conventions de signe.
- Effectuer un bilan énergétique.

III.2 Rails de Laplace moteur

III.3 Freinage par induction

- Citer des applications dans le domaine de l'industrie ou de la vie courante.
- Expliquer l'origine des courants de Foucault et en connaître des exemples d'utilisation.

III.4 Alternateur

Questions de cours

- Définir le flux magnétique, puis énoncer la loi de Faraday en s'appuyant sur deux schémas : l'un magnétique, l'autre électrique.
- Énoncer la loi de modulation de Lenz et l'utiliser pour analyser qualitativement une situation décrite par l'interrogateur : aimant et spire (connaissant le mouvement relatif, déterminer le signe du courant induit), rails de Laplace (connaissant le sens du mouvement de la tige mobile, déterminer le signe du courant induit) ou bobine dans un circuit.
- Décrire qualitativement le comportement des rails de Laplace générateur, des rails de Laplace moteur ou d'une spire en rotation dans un champ magnétique uniforme.
- Établir les équations électrique et mécanique des rails de Laplace utilisés comme générateur ou comme moteur. En déduire un bilan de puissance.
- Établir les équations électrique et mécanique de l'alternateur utilisé comme générateur. En dé-

duire un bilan de puissance.

Chapitre Q1 – Introduction à la physique quantique

Plan du cours

I Dualité onde-corpuscule pour la lumière

I.1 Modélisation de la lumière

→ Décrire un exemple d'expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon.

I.2 Effet photoélectrique

→ Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière.

→ Effet photoélectrique : établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.

→ Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique.

I.3 Description du photon

II Interactions lumière-matière

II.1 Absorption et émission de photons

II.2 Applications

→ Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière (capteurs de lumière, cellules photovoltaïques, diodes électroluminescentes, spectroscopies UV-visible et IR, etc.).

III Description ondulatoire de la matière

III.1 Dualité onde-corpuscule de de Broglie

→ Décrire un exemple d'expérience mettant en évidence le comportement ondulatoire de la matière.

→ Évaluer des ordres de grandeurs typiques intervenant dans des phénomènes quantiques.

III.2 Confirmations expérimentales

→ Interpréter une expérience illustrant la dualité onde-particule.

III.3 Applications

Questions de cours

- Citer les relations de Planck-Einstein et de de Broglie liant l'énergie, l'impulsion et la fréquence ou la longueur d'onde d'une particule.
- Justifier l'expression de l'énergie cinétique d'un électron dans le cas de l'effet photoélectrique.
- Décrire une expérience mettant en évidence la nécessité de la notion de photon (effet photoélectrique, effet Compton)
- Décrire une expérience mettant en évidence le comportement ondulatoire de la matière (diffraction et interférence avec des particules matérielles).