

La PCSI, chapitre par chapitre

Introduction au monde quantique

- *Dualité onde-corpuscule* : effet photoélectrique (description de l'expérience, résultats attendus par la mécanique classique et observations, interprétation avec la quantification du rayonnement), relation de PLANCK- EINSTEIN et relation de DE BROGLIE, expérience de DAVISSON ET GERMER.
 - *Interprétation probabiliste et certaines expériences* : expérience des trous d'YOUNG, fonction d'onde, indétermination quantique, interprétation de la diffraction, principe d'HEISENBERG.
 - *Quantification de l'énergie d'une particule confinée à 1D* : modèle de Bohr et calcul des énergie des orbites, énergie minimale d'une particule confinée, cas d'une particule dans un puits de potentiel infini, quantification des niveaux d'énergie.
- Objets quantiques. Relation de PLANCK-EINSTEIN et relation de DE BROGLIE.
 - Indétermination quantique et principe d'HEISENBERG : illustration sur l'exemple de la diffraction.
 - Modèle de l'atome de Bohr : calcul des niveaux d'énergie des différentes orbites, considérant la quantification du moment cinétique $L = n\hbar$ (voir TDM9)
 - Niveaux d'énergie d'une particule confinée dans un puits de potentiel infini.

Statique des fluides

- *Loi de l'hydrostatique* : équivalent volumique des forces pressantes, gradient, loi de l'hydrostatique projetée sur la verticale.
 - *Champ de pression* : cas des fluides homogènes et incompressibles, équation barométrique, applications, modèle de l'atmosphère isotherme, facteur de Boltzmann.
 - *Action d'un fluide sur un solide* : exemple du barrage plan, du barrage hémicylindrique, méthode générale, poussée d'Archimède.
- Déterminer, en coordonnées cartésiennes, l'expression de l'équivalent volumique des forces pressantes.
 - Etablir la loi de l'hydrostatique. L'intégrer dans le cas d'un fluide homogène et incompressible.
 - Rappeler la loi de l'hydrostatique et l'intégrer dans le cas de l'atmosphère isotherme. Faire apparaître le facteur de Boltzmann.
 - Calcul de la force pressante s'exerçant sur un barrage plan ou hémicylindrique.
 - Poussée d'Archimède.

Conversion de puissance électromécanique

- *Conversion de puissance mécanique en puissance électrique* : exemple du rail de Laplace, freinage par induction, exemple d'une spire en rotation

— *Conversion de puissance électrique en puissance mécanique* : exemple du rail de Laplace

- Conversion de puissance mécanique en puissance électrique : exemple du rail de Laplace. Interpréter physiquement ce qui va se passer, puis établir l'expression de $v(t)$ et $i(t)$. Effectuer enfin un bilan de puissance traduisant la conversion de puissance.
- Conversion de puissance électrique en puissance mécanique : exemple du rail de Laplace. Interpréter physiquement ce qui va se passer, puis établir l'expression de $v(t)$ et $i(t)$. Effectuer enfin un bilan de puissance traduisant la conversion de puissance.

Action d'un champ magnétique sur un circuit

— *Force de Laplace* : force et moment de Laplace

— *Mouvement d'une spire en rotation* : équation du mouvement, positions d'équilibre et stabilité, à partir de l'équation du mouvement et à partir de l'énergie.

— *Effet moteur d'un champ tournant*

- Spire parcourue par un courant i constant en rotation dans un champ magnétique : positions d'équilibre et stabilité par deux méthodes (équation du mouvement et énergie)
- Force de Laplace et moment de Laplace : démonstration de l'expression du moment sur l'exemple d'une spire rectangulaire.

Les lois de l'induction

— *Les lois de l'induction* : mise en évidence expérimentale, flux du champ magnétique, loi de LENZ, lois de FARADAY

— *Inductance propre et auto-induction* : flux et champ propre d'un circuit, autoinduction, aspect énergétique

— *Couplage entre 2 circuits* : mutuelle induction, circuits équivalents, aspect énergétique, le transformateur.

- Loi de LENZ et loi de FARADAY : énoncé (avec définition du flux) et illustration sur un ou 2 exemples (rail de LAPLACE, bobine + aimant), circuit équivalent.
- Autoinduction : définition du champ et du flux propre, inductance propre, calcul dans le cas d'un solénoïde (modèle du solénoïde infini). Montrer que la loi de FARADAY permet de retrouver la relation constitutive d'une bobine.
- Mutuelle induction : modélisation de 2 circuits en influence, schémas équivalents, expressions des flux et équations de fonctionnement en mode temporel et fréquentiel.

- Le transformateur idéal : présentation du système, relation entre les tensions, relations entre les intensités (hypothèses du transformateur idéal).

Le champ magnétique

- *Sources et cartes de champ magnétique* : champ créé par un aimant droit, par une spire, boussole, lignes de champ, cartes de champ, ordre de grandeur
 - *Propriété du champ magnétique* : symétries et invariances, règle de la main droite, exemples des cartes de champ créé par une spire et créé par un fil infini
 - *Création d'un champ uniforme* : aimant en U, bobine d'HELMHOLTZ, solénoïde infini (formule à connaître par coeur)
 - *Moment magnétique* : d'une spire, extension de la notion pour un aimant droit de section S et de longueur L
- Carte de champ d'un aimant droit, d'une spire circulaire, pôles nord et sud, règle de la main droite.
 - Propriété du champ magnétique : symétries et invariances de la distribution, conséquence sur le champ B . A traiter sur l'exemple de la carte de champ d'une spire et celle du fil infini.
 - Moment magnétique d'une spire, moment magnétique d'un aimant droit de section S et de longueur L .

Machines thermiques

- *Construction d'une machine thermique* : exemple du moteur et du réfrigérateur, limite d'une machine monotherme, généralisation aux machines dithermes, rendement, rendement de CARNOT, principe de la cogénération
 - *Cycle de Carnot* : Définition, cycle de CARNOT pour un gaz parfait, cycle de CARNOT pour un système diphasé, utilisation du diagramme entropique
 - *Moteur 4 temps* : modélisation par le cycle BEAU DE ROCHAS, étude du cycle et calcul du rendement.
 - *Machine frigorifique* : description du dispositif, principaux éléments
- Principe de fonctionnement d'un moteur ou d'une machine frigorifique, ou d'une pompe à chaleur : signe des travaux et transferts thermiques, rendement, rendement de CARNOT.
 - Exemple de cours présenté sous forme d'exercice (disponible dans le polycopié de cours) : cycle BEAU DE ROCHAS, cycle de CARNOT (GP ou système diphasé).

Second principe de la thermodynamique

- *Nécessité d'un second principe* : expérience de JOULE-MAYER, non-équivalence entre travail et transfert thermique, irréversibilité

- *Second principe* : énoncé, commentaire, entropie échangée, application à quelques transformations particulières
 - *Interprétation statistique de l'entropie* : microétat, macroétat, formule de Boltzmann, application (état d'un système à 2 compartiments), hypothèse ergodique
 - *Bilans entropiques* : calcul de ΔS pour une phase condensée incompressible et pour un gaz parfait, loi de LAPLACE, exemple de bilan
 - *Bilans entropiques avec changement d'état* : entropie massique de changement d'état, relation avec l'enthalpie massique.
- Bilan énergétique et entropique avec transition de phase : définition de $\Delta h_{12}(T_{12})$, $\Delta s_{12}(T_{12})$ et relation entre ces grandeurs. Détermination d'un état final et bilan entropique sur un exemple (glace + eau dans calorimètre).
 - Second principe de la thermodynamique, entropie échangée, application à quelques transformations particulières.
 - Calcul de ΔS pour une phase condensée incompressible et pour un gaz parfait. *NB : les expressions de $S(V, T)$ pour un GP et $S(T)$ pour une phase condensée incompressibles doivent être données. Par contre, les étudiants doivent savoir passer de $S(V, T)$ à ΔS et à $S(P, T)$ ou $S(P, V)$.*
 - Loi de LAPLACE (à démontrer, et à donner sous ses trois formes), représentation graphique des isentropiques. *La démonstration de la loi de LAPLACE nécessite que l'expression de $S(V, T)$ soit redonnée.*
 - Exemple d'un bilan entropique au choix : contact entre 2 solides, détente de JOULE-GAY LUSSAC, comparaison de 2 transformation monotherme (quasistatique et brutale). *Cette question doit être guidée avec des questions type TD*

Premier principe de la thermodynamique

- *Transferts d'énergie* : transformation d'un système (vocabulaire), mise en évidence de différentes formes de transferts d'énergie, travail élémentaire des forces pressantes, travail sur une transformation finie, travail électrique, modes de transfert thermique, thermostat.
 - *Premier principe de la thermodynamique* : énoncé et commentaires, utilisation (méthode)
 - *Fonction enthalpie* : introduction et définition, capacité thermique à pression constante, coefficient γ , relation de MAYER, capacités en fonction de γ
 - *Bilans énergétiques pour un système diphasé* : enthalpie massique de changement d'état, détermination d'un état final sur un exemple.
- Transfert thermique : différents modes de transfert thermique, définition d'un thermostat, transformations monotherme et adiabatique

- Définition de la pression extérieure, travail élémentaire des forces pressantes, calcul du travail sur quelques transformations particulières (isochore, monobare, isotherme pour un gaz parfait).
- Énoncé du premier principe et commentaires. Forme différentielle, justification des notations. Cas particuliers.
- Introduction de la fonction enthalpie. Montrer que pour une transformation monobare entre deux états d'équilibre, on a $\Delta H = Q$, calcul de ΔH .
- Capacités thermiques à pression et volume constant, relation de MAYER, coefficient γ , expression des capacités en fonction de γ .
- Bilan énergétique avec transition de phase : définition de $\Delta h_{12}(T_{12})$. Détermination d'un état final sur un exemple (m_1 d'eau et m_2 de glace à T_1 et T_2 , choix d'une hypothèse d'état final, détermination de l'état final et vérification).

Description d'un système diphasé

- *Définitions* : phase, corps pur, changement d'état
- *Diagramme (p, T)* : présentation, points particuliers, cas de l'eau, prolongement du diagramme
- *Description d'un système diphasé* : exemple de détermination d'un état final lors d'une vaporisation d'une masse donnée dans un volume donné, définitions des fractions molaires et massiques
- *Étude particulière de l'équilibre liquide vapeur dans le diagramme (p, v)* : diagramme, théorème des moments, problématique du stockage des fluides, conclusion (diagramme 3D (P, v, T))
- *Équilibre liquide vapeur sous atmosphère inerte* : pression partielle, condition d'équilibre.
- Équilibre d'un corps pur diphasé : diagramme de CLAPEYRON pour la transition liquide-gaz, théorème des moments et démonstration.
- Diagramme (P, T) , présentation, particularité de l'eau, proposer quelques expériences ou quelques exemples de transformations illustrées par le diagramme.
- Conditions d'équilibre d'un liquide sous atmosphère inerte.

Description microscopique et macroscopique d'un système thermodynamique

- *Introduction à la thermodynamique* : états de la matière, échelles de représentation, système thermodynamique, variables d'état, équilibre mécanique et thermique, définition de la pression extérieure
- *Le gaz parfait monoatomique : du microscopique au macroscopique* : démonstration de la pression cinétique (non exigible), hypothèses de l'étude (à avoir comprises et à savoir réexpliquer), température cinétique, équation d'état, énergie interne, capacité thermique à volume constant.
- *Modèle des phases condensées incompressibles* : définition et équation d'état, énergie interne et capacité thermique.

- Pression cinétique d'un GPM (démonstration dans le cadre d'un modèle très simplifié à expliquer).
- Température cinétique et équation d'état du gaz parfait (l'expression de la pression cinétique doit être redonnée).
- Energie interne d'un gaz parfait monoatomique, capacité thermique à volume constant. Calcul de ΔU .

Intégration numérique

- Intégration par la méthode des rectangles (à gauche, à droite, au milieu) et des trapèzes.
- Détermination de la période d'un pendule pour de grandes oscillations par intégration.
- Etude du pendule simple pour de grandes amplitudes : établir l'expression de la période des oscillations sous la forme d'une intégrale.
- Présentation des 4 méthodes d'intégration numériques à l'aide de schéma. Expression du pas d'intégration, des aires \mathcal{A}_i , des x_i . Code python pour une méthode des rectangles (au choix), et la méthode des trapèzes.

Mouvement dans un champ de force centrale conservative

- *Force centrale conservative* : définitions, deux exemples importants
- *Lois de conservation* : conservation du moment cinétique, conservation de l'énergie mécanique et conséquence (intégrale première du mouvement, énergie potentielle effective, interprétation graphique)
- *Mouvement dans un champ newtonien* : force newtonienne, étude qualitative des trajectoires dans le cas attractif, étude particulière de la trajectoire circulaire et applications (3ème loi de KÉPLER, satellite géostationnaire, première vitesse cosmique), généralisation aux trajectoires elliptiques (énergie mécanique et 3ème loi de KÉPLER), vitesse de libération, étude qualitative des trajectoires dans le cas répulsif
- *Loi de Képler* : énoncé et justification/démonstration, transposition aux satellites terrestres
- Force centrale et conservative : définition et 3 exemples (force de rappel élastique, force d'interaction gravitationnelle, force d'interaction coulombienne). Démonstration de $E_p(r)$ à partir de la force dans chacun des cas. (*L'examineur pourra redonner l'expression du gradient en coordonnées sphériques s'il souhaite la démonstration sous cette forme. Sinon, on pourra démontrer à l'aide du travail élémentaire.*)
- Conservation du moment cinétique pour une force centrale et conséquences (en particulier loi des aires).
- Energie potentielle effective pour une force newtonienne attractive et étude qualitative des trajectoires.

- Etude de la trajectoire circulaire pour une force newtonienne attractive : vitesse, énergies, moment cinétique et période
- Première et seconde vitesses cosmiques et ordre de grandeur
- Satellite géostationnaire : définitions, propriétés, calcul de l'altitude
- Quelques propriétés de la trajectoire elliptique et démonstrations
- Les lois de KÉPLER et leur démonstration/justification

Etude des solides en rotation

- *Description du mouvement d'un solide* : rotation, translation, vitesse d'un point
 - *Moment* : moment d'inertie, moment d'une force, moment d'un couple, liaison pivot
 - *Théorème du moment cinétique et application* : exemple du pendule pesant, rôle du stator dans une machine tournante
 - *Aspect énergétique* : énergie cinétique, puissance d'un couple, TPC, couple conservatif, étude du pendule de torsion
 - *Ouverture* : exemple du tabouret d'inertie pour introduire les solides déformables.
- Moment d'inertie d'un solide en rotation autour d'un axe et théorème du moment cinétique.
 - Etude du pendule rigidifié.
 - Etude du pendule de torsion.
 - Aspects énergétique des mouvement des solides en rotation : énergie cinétique, TEC, puissance des couples.

Théorème du moment cinétique

- *Moment cinétique d'un point* : par rapport à un point, par rapport à un axe orienté
 - *Moment d'une force* : par rapport à un point, par rapport à un axe orienté, cas particuliers, bras de levier
 - *Théorème du moment cinétique* : par rapport à un point, par rapport à un axe, exemple du pendule simple.
- Moment cinétique d'un point et moment d'une force par rapport à un point et par rapport à un axe. Bras de levier.
 - Etude du pendule simple par le TMC.

Mouvement de particules chargées dans un champ électromagnétique

- *Force de LORENTZ* : effet de la force électrique, effet de la force magnétique, expression, puissance, travail élémentaire, énergie potentielle, potentiel électrique, interprétations physiques
 - *Mouvement dans un champ électrostatique uniforme* : principe fondamental de la dynamique, allure des trajectoires, vitesse en sortie d'une zone accélératrice, application : l'oscilloscope
 - *Mouvement dans un champ magnétostatique uniforme* : Cas d'une vitesse initiale perpendiculaire à \vec{B} , TEC, détermination du rayon de la trajectoire (découplage des équations cartésiennes).
- La force de LORENTZ : expression, interprétation, puissance, travail, énergie potentielle.
 - Le potentiel électrique : définition, relation avec le champ \vec{E} (à démontrer à partir de la relation entre énergie potentielle et force conservative), relation entre le champ et la tension aux bornes d'un condensateur (à démontrer).
 - Mouvement dans un champ électrostatique uniforme : équation du mouvement, allure des trajectoires suivant le signe de la charge, vitesse en sortie de zone accélératrice de largeur d avec une tension U .
 - Mouvement dans un champ magnétostatique uniforme : résoudre les équations différentielles couplées, montrer que la trajectoire est un cercle et qu'il est parcouru uniformément. *Cette question doit être guidée à la manière d'un exercice.*

Battements

- Etude d'une simulation, expression mathématique du signal, fréquence de modulation, fréquence de battements, représentation graphique
- Phénomène de battements entre deux ondes sinusoïdales de même amplitude : expression du signal total, représentation graphique, expression de la fréquence de battement en fonction des fréquences f_1 et f_2 .

Ondes stationnaires

- *Modes propres d'une corde vibrante* : mise en évidence expérimentale, relation entre λ_n et L puis entre f_n et L .
- *Modélisation mathématique* : expression de l'onde résultante, quantification de k puis de f .
- *Vibration quelconque d'une corde vibrante* : superposition des modes propres, fondamental, harmoniques, cas d'un tuyau ouvert à une extrémité et fermé à l'autre.
- Description des modes propres d'une corde vibrante (sans calcul) : noeuds et ventre de vibration, vibration aux extrémités, longueur d'onde et fréquences. Cas d'un instrument à vent avec une extrémité ouverte et une fermée. Comparaison des spectres.
- Superposition d'une onde incidente et d'une onde réfléchie dans le cas d'une corde fixe aux deux bouts. Expression de l'onde résultante. Modes propres (calcul).

Superposition de 2 ondes : interférences

- *Onde sphérique* : définition, forme mathématique, déphasage dû à la propagation
 - *Superposition de 2 ondes* : formule des interférences, différence de marche, ordre d'interférence, interférences constructives et destructives (interprétation physique, condition sur le déphasage $\Delta\Phi$, la différence de marche δ et l'ordre d'interférence p dans le cas de 2 sources émettant en phase), figure d'interférence, intensité.
 - *Expérience des trous d'Young* : présentation du montage, expression de la différence de marche, figure d'interférence et interfrange, introduction du chemin optique pour tenir compte d'un passage dans un milieu d'indice différent.
- Onde sphérique : expression mathématique, retard à la propagation, déphasage entre 2 ondes issues de 2 sources différentes, différence de marche.
 - Interférences à 2 ondes : condition d'interférences constructives et destructives (sur δ , sur p et sur $\Delta\varphi$), illustrations (graphes temporels).
 - Expérience des trous d'Young : présentation du montage, calcul de la différence de marche, orientation et position des franges brillantes, interfrange.
 - Chemin optique : définition, déphasage entre 2 en fonction des chemins optiques (mise en évidence sur un exemple avec passage dans un milieu d'indice n'), condition d'interférences constructives.

Propagation du signal

- *Onde progressive* : propagation d'une grandeur physique, expression du signal sous la forme $f(x \pm ct)$ ou $g(t \pm \frac{x}{c})$, allure et évolution temporelle de la perturbation
 - *Ondes progressives sinusoïdales* : expression mathématique, périodicités spatiale et temporelle, relation entre longueur d'onde et pulsation, ordre de grandeur.
- Montrer qu'une onde progressive se met sous la forme $f(x \pm ct)$ ou $g(t \pm \frac{x}{c})$
 - Allure d'une onde à un instant t et évolution temporelle en un point x . Question à traiter sur un exemple.
 - Onde progressive sinusoïdale : expression mathématique, double périodicité et relation entre T et λ (démonstrations attendues).

L'ALI

- *Présentation* : loi d'entrée sortie, ALI idéal, régime linéaire, nécessité de la boucle de rétroaction
- *Montages à ALI* : suiveur, amplificateur inverseur et non-inverseur, intégrateur. Pour chaque montage : relation entre l'entrée et la sortie, impédance d'entrée du montage. Intérêt du montage suiveur dans la mise en cascade de 2 filtres et dans le fait que la tension alimentant la charge ne dépende

plus de son impédance.

- ALI : présentation du composant, loi d'entrée sortie, hypothèse de l'ALI idéal, régimes de fonctionnement, condition nécessaire au fonctionnement linéaire.
- Montage amplificateur inverseur (schéma donné) : relation entre l'entrée et la sortie, impédance d'entrée.
- Montage amplificateur non-inverseur (schéma donné) : relation entre l'entrée et la sortie, impédance d'entrée.
- Montage intégrateur (schéma donné) : relation entre l'entrée et la sortie, impédance d'entrée.
- Montage suiveur (schéma donné) : relation entre l'entrée et la sortie, impédance d'entrée, intérêt du montage.

Filtrage

- *Spectre d'un signal* : théorème de Fourier, exemple du signal créneau, notion d'harmonique, de fondamental, représentation graphique du spectre, formule de Parseval, représentation du spectre sous forme d'un tableau python
- *Effet d'un filtre sur une somme finie de composantes sinusoïdale* : sur un exemple, à l'aide du diagramme de Bode et de la fonction de transfert
- *Effet d'un filtre sur une somme infinie de composantes sinusoïdales* : code python pour calculer le spectre de sortie à partir du spectre d'entrée, interprétation physique de différentes situations (filtrage d'un créneau par un passe-bas et un passe-bande en faisant varier leurs caractéristiques), filtre moyenneur, intégrateur, dérivateur et leurs effets sur les signaux créneau, triangle et sinus.
- Décomposition en série de Fourier d'un signal périodique, vocabulaire (harmoniques, fondamental, composante continue, etc). Représentation d'un spectre à partir des expressions données des S_{m_k} .
- Signal sinusoïdal avec valeur moyenne : spectre, grandeur mesurée au voltmètre en mode AC, au voltmètre en mode DC, au voltmètre en mode AC+DC (utilisation de la formule de Parseval).
- Filtrage d'un signal composé d'une somme finie de composantes sinusoïdales par un filtre de fonction de transfert donnée : expliquer la méthode pour déterminer l'expression du signal de sortie.
- Filtrage d'un signal créneau par un filtre de caractéristiques données : expliquer la méthode et déterminer qualitativement le spectre et l'allure du signal en sortie sur un exemple proposé.
- Code python pour calculer le spectre du signal de sortie à partir du spectre du signal d'entrée lors du filtrage par un filtre de gain et phase donnés.
- Filtre intégrateur : fonction de transfert, approximation par un filtre du 1er ordre dans une gamme de fréquence à préciser, utilisation sur un signal créneau, triangle ou sinus.
- Filtre dérivateur : fonction de transfert, approximation par un filtre du 1er ordre dans une gamme de fréquence à préciser, utilisation sur un signal créneau, triangle ou sinus.

- Filtre moyennneur : type de filtre, condition d'utilisation, exemple d'application sur un signal créneau de valeur moyenne non nulle.

Quadripôles linéaires

- *Filtres* : définition, fonction de transfert harmonique, gain, phase, exemple du filtre RC avec sortie sur C
- *Diagrammes de Bode* : nature d'un filtre avec schéma équivalents BF et HF, gain en décibel, diagramme de Bode, équations des asymptotes pour le filtre RC, fréquence de coupure et bande passante, lecture graphique, démonstration pour le filtre RC.
- *Filtres d'ordre 1* : définition, passe-haut et passe-bas, diagrammes de Bode
- *Filtres d'ordre 2* : définition, passe-bas et passe-bande, diagrammes de Bode
- *Associations de filtres* : impédance d'entrée, impédance de sortie, mise en cascade, condition pour multiplier les fonctions de transfert, exemple d'un double circuit RC.
- Etude du filtre RC avec sortie sur C : type de filtre, fonction de transfert (forme canonique donnée), gain, phase, expressions asymptotiques de \underline{H} , équations des asymptotes et tracé du diagramme de Bode. Point d'intersection des asymptotes.
- Etude du filtre RL avec sortie sur L : type de filtre, fonction de transfert (forme canonique donnée), gain, phase, expressions asymptotiques de \underline{H} , équations des asymptotes et tracé du diagramme de Bode. Point d'intersection des asymptotes.
- Bande passante et pulsations de coupure : définition, calcul dans le cas du passe-haut ou du passe-bas du 1er ordre (fonction de transfert donnée).
- Détermination de la nature de différents filtres (RLC série avec sortie aux bornes de R, L ou C), et mise sous forme canonique de la fonction de transfert (forme canonique donnée).
- Passe-bas d'ordre 2 : diagramme de Bode en gain, point d'intersection des asymptotes, effet de Q_0 .
- Passe-bande : diagramme de Bode en gain, point de résonance, point d'intersection des asymptotes, comparaison des 2.

Résonance des oscillateurs harmoniques amortis

- *Préliminaires* : équivalents HF et BF de la bobine et du condensateur
- *Etude de l'intensité d'un RLC série en RSF* : étude asymptotique, expression de \underline{I} , étude de l'amplitude (asymptotique puis expression générale), étude de la phase (idem), résonance et acuité de la résonance.
- *Etude de l'élongation d'un pendule masse-ressort en RSF* : équation du mouvement et détermination de \underline{X} . Etude de l'amplitude, condition de résonance, étude de la phase.
- *Détermination des caractéristiques d'un oscillateur à partir des courbes de résonance*

- Etude de l'intensité d'un circuit RLC série en RSF : étude asymptotique et détermination de \underline{I} par deux méthodes (à partir des impédances et à partir de l'équation différentielle). Mise sous forme canonique (forme canonique donnée).
- Etude de l'intensité d'un circuit RLC série en RSF : étude asymptotique (avec interrupteurs équivalents) et détermination de \underline{I} . Asymptotes en gain et phase.
- Etude de l'intensité d'un circuit RLC série en RSF : détermination de \underline{I} . Etude complète de l'amplitude.
- Etude de l'intensité d'un circuit RLC série en RSF : étude détermination de \underline{I} . Etude complète de la phase.
- Etude de la résonance en intensité (forme canonique donnée) : démonstration de la pulsation de résonance, définition de la bande passant de détermination des pulsations de coupure. Acuité de la résonance.
- Etude de l'élongation d'un pendule masse-ressort en RSF : équation du mouvement et détermination de \underline{X} . Etude asymptotique en gain et phase.
- Etude de l'élongation d'un pendule masse-ressort en RSF : équation du mouvement et détermination de \underline{X} . Etude de l'amplitude.
- Résonance en élongation d'un pendule masse-ressort avec l'expression de X_m donnée : condition de résonance, pulsation de résonance, cas particulier où $Q_0 \gg 1$
- Détermination des paramètres d'un oscillateur à partir des courbes de résonance.

Oscillateurs

- *Oscillateur harmonique* : système masse-ressort avec origine du repère au point O (mise en équation avec PFD, avec énergie, résolution, évolution des énergies). Définition de l'oscillateur harmonique par son équation et par son énergie potentielle. Oscillateur électrique LC : mise en équation et résolution, bilan d'énergie, analogie électromécanique.
- *Oscillateur harmonique amorti* : introduction sur un circuit LC réel (donc RLC), système masse-ressort avec frottements, forme canonique de l'équation, prévision de l'évolution par raisonnement énergétique, analyse de courbes de simulation, résolution dans les 3 régimes, temps de relaxation, bilans énergétiques pour les 2 oscillateurs (électrique et mécanique).
- *Oscillateur non linéaire* : courbes de simulation pour le pendule simple, résolution dans le cas des petits angles, approximation de Taylor-Young et oscillations quasi-harmoniques autour d'une position d'équilibre stable.
- Système masse-ressort horizontal (origine du repère à la position d'équilibre) : mise en équation par le PFD ou par l'énergie. Forme canonique de l'équation.
- Système masse-ressort horizontal (origine du repère à la position d'équilibre) : résolution de l'équation sans second membre dans des conditions initiales données. Tracé graphique.

- Démonstration de la conservation de l'énergie mécanique à partir de l'expression (redonnée) de $x(t)$.
- Oscillateur LC : montage, mise en équation et résolution.
- Equation du mouvement d'un oscillateur amorti mécanique. Equation électrique d'un circuit RLC série. Mise sous forme canonique de ces 2 équations.
- Evolution de l'énergie dans un circuit RLC série en régime libre. Evolution de l'énergie dans un oscillateur mécanique amorti. Analogie électromécanique.
- Résolution de l'équation différentielle sur la charge $q(t)$ du condensateur d'un circuit RLC série en régime libre : cas du régime aperiodique.
- Résolution de l'équation différentielle sur la charge $q(t)$ du condensateur d'un circuit RLC série en régime libre : cas du régime critique.
- Résolution de l'équation différentielle sur la charge $q(t)$ du condensateur d'un circuit RLC série en régime libre : cas du régime pseudo-périodique.
- Temps de relaxation d'un circuit : définition et calcul dans les différents régimes. *Pour cette question, le correcteur redonnera les expressions de $q(t)$ dans chacun de ces trois régimes.*
- Bilan énergétique du circuit RLC série. Bilan énergétique de l'oscillateur amorti mécanique.
- Equation du mouvement du pendule simple. Approximation et résolution dans le cas des petites oscillations.
- Approximation de Taylor-Young de l'énergie au voisinage d'une position d'équilibre stable. Equation du mouvement et pulsation propre des petites oscillations.

Travail, puissance et énergie

- *Travail et puissance* : travail élémentaire, puissance, cas particuliers
- *Energie potentielle* : définition, cas des énergies potentielles de pesanteur, élastique, gravitationnelle, électrostatique, notion de gradient
- *Théorèmes énergétiques* : théorème de l'énergie et de la puissance cinétique, de l'énergie et de la puissance mécanique.
- *Mouvements conservatifs à 1 degré de liberté* : définition et interprétation qualitative, intégrale première du mouvement, mouvement lié ou de diffusion, position d'équilibre et stabilité.
- Travail élémentaire, travail et puissance d'une force. Cas particuliers (forces constantes, perpendiculaire à \vec{v} et forces de frottements)
- Force conservative : définition, travail en fonction de l'énergie potentielle, démonstration au choix des expressions de l'énergie potentielle élastique, de pesanteur et gravitationnelle. Relation $\vec{F} = -\text{grad}E_p$ à établir en coordonnées cartésiennes.
- Théorèmes énergétiques et démonstrations (peuvent être demandées mais non exigibles).
- Mouvement conservatif à un degré de liberté : intégrale première du mouvement et interprétation qualitative (état lié, état de diffusion)

- Position d'équilibre et stabilité, lien avec l'énergie potentielle, démonstration dans le cas d'un mouvement unidimensionnel.
- Exemple du pendule simple : IPM, équation du mouvement, tracé de la courbe $E_p(\theta)$, positions d'équilibre et stabilité, mouvement oscillant et mouvement de révolution.

Dynamique en référentiel galiléen

- *Les lois de NEWTON*
 - *Loi de forces* : définition, force gravitationnelle, force d'interaction coulombienne, forces de frottements solide et fluide, force élastique et tension d'un fil
 - *Mouvement dans le champ de pesanteur* : chute libre sans frottements, chute avec frottements visqueux (analyse qualitative de l'équation : considérations d'ordre de grandeur, vitesse limite, temps caractéristique), chute avec frottements aérodynamiques (équations couplées, vitesse limite par analyse de l'équation, temps caractéristique, considération d'ordre de grandeur), comparaison des trajectoires obtenues par simulation numérique.
 - *Mouvement d'un pendule simple* : équation du mouvement
- Les 3 lois de NEWTON.
 - Lois de forces : force d'interaction gravitationnelle, force d'interaction coulombienne, force de rappel élastique.
 - Forces de frottements solide et fluide.
 - Chute libre sans frottement dans le champ de pesanteur. Trajectoire.
 - Chutes libre avec frottements visqueux et aérodynamique : équations du mouvement, vitesses limites, temps caractéristiques, ordres de grandeur et commentaires. *Pour les ordres de grandeur, la formule de STOCKES ou de la force de traînée seront redonnées.*
 - Le pendule simple : équation du mouvement (la résolution n'a pas été vue $\rightarrow M4$).

Cinématique du point

- *Notion de référentiel* : définitions, relativité du mouvement, repérage d'un point
- *Les différents systèmes de coordonnées* : produit scalaire et projection de vecteurs, base orthonormée directe, base cartésienne, bases cylindrique et polaire, base sphérique
- *Vecteurs position, vitesse et accélération* : vecteur position et trajectoire, dérivées des fonctions vectorielles, vecteur vitesse dans les 3 systèmes de coordonnées (par 2 méthodes pour les coordonnées cartésiennes et cylindriques, par une seule méthode pour sphérique), vecteur accélération en coordonnées cartésiennes et cylindriques.
- *Mouvement à accélération constante* : intégration des 3 équations différentielles ou intégration vectorielle. Allure de la trajectoire.

- *Mouvement circulaire* : vitesse, accélération et commentaires (cas uniforme ou non)
 - La base cartésienne : coordonnées, vecteurs, vecteur position, vecteur déplacement élémentaire, vecteur vitesse et accélération.
 - La base polaire et la base cylindrique : coordonnées, vecteurs, vecteur position, vecteur déplacement élémentaire, vecteur vitesse et accélération.
 - La base sphérique : coordonnées, vecteur position, vecteurs, vecteur déplacement élémentaire, vecteur vitesse.
 - Etude du mouvement circulaire, uniforme ou non : vecteurs position, vitesse et accélération, trajectoire et commentaires.
 - Etude du mouvement à accélération constante : équations horaires du mouvement et allure de la trajectoire.
 - Base de Frenet : abscisse curviligne, vecteurs de la base, expression de la vitesse et de l'accélération, rayon de courbure.

RSF des circuits du premier ordre

- *Signal sinusoïdal* : expression mathématique, caractéristiques, tracé graphique (en tenant compte de la phase à l'origine), démonstration de la relation $T = 2\pi/\omega$, valeur moyenne (démonstration), valeur efficace, déphasage entre 2 signaux.
- *Réponse d'un circuit du 1er ordre* : étude de courbes de simulation, résolution naïve de l'équation, représentation complexe (signal, dérivée, primitive, grandeur complexe instantanée, amplitude complexe), application au circuit RC.
- *Etude des circuits en RSF* : notion d'impédance et d'admittance, cas des dipôles usuels, dipôle résistif, capacitif, adaptation des lois en complexe.
 - Signal sinusoïdal : expression mathématique, caractéristique, représentation graphique (sur le cas particulier d'une phase à l'origine donnée). Démonstration de la relation entre ω et T .
 - Signal sinusoïdal : expression, valeur moyenne (démonstration) et valeur efficace (valeur moyenne de \cos^2 admise, mais à connaître).
 - Mesure d'un déphasage entre 2 signaux. Application sur un exemple.
 - Représentation complexe d'un signal sinusoïdal : grandeur réelle, amplitude, phase à l'origine, grandeur complexe instantanée, amplitude complexe, passage de l'amplitude complexe aux caractéristiques de la grandeur réelle. Représentation de la dérivée et primitive d'un signal en complexe.
On sera particulièrement attentif à la précision du vocabulaire utilisé.
 - Utilisation de la représentation complexe : détermination de $u_C(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ en fonction de $e(t) = E_m \cos(\omega t + \varphi_e)$ aux bornes d'un RC série en RSF (en partant de l'équation différentielle ou en étudiant le circuit en complexes.)

- Impédance et admittance d'un dipôle. Impédances des dipôles passifs modèles. Dipôle résistif, capacitif, inductif. Association d'impédances.

Régimes transitoires des circuits du premier ordre

- Réponse d'un circuit RC à un échelon de tension : étude de la tension $u_C(t)$ et de l'intensité $i(t)$.
- Régime libre d'un circuit RC : étude de la charge $q(t)$ et de l'intensité $i(t)$.
- Réponse d'un circuit RL à un échelon de tension : étude de l'intensité $i(t)$.

Pour ces études, ont été vus :

- la détermination des valeurs de toutes les grandeurs électriques à $t = 0^-$, $t = 0^+$ et $t = +\infty$
- la détermination de l'équation différentielle régissant l'évolution des grandeurs étudiées
- la détermination d'un temps caractéristique du régime transitoire, dont la dimension a été démontrée par 2 méthodes
- la résolution complète de l'équation différentielle avec conditions initiales
- la représentation graphique de la grandeur étudiée en fonction du temps
- la détermination graphique de τ par 2 méthodes et les démonstrations associées
- un bilan énergétique avec analyse qualitative et calcul de l'énergie reçue par la bobine ou le condensateur

- Réponse d'un circuit RC à un échelon de tension : étude de $u_c(t)$ (établissement de l'équation différentielle, condition initiale, résolution, tracé graphique).
- Grandeurs à $t = 0^-$, $t = 0^+$ et $t = +\infty$ pour le circuit RC.
- Réponse d'un circuit RC à un échelon de tension : bilan énergétique, calcul des différentes énergies.
- Circuit RC en régime libre : étude de $q(t)$ (établissement de l'équation différentielle, condition initiale, résolution, tracé graphique).
- Circuit RC en régime libre : bilan énergétique, calcul des différentes énergies.
- Réponse d'un circuit RL à un échelon de tension : étude de $i(t)$ (établissement de l'équation différentielle, condition initiale, résolution, tracé graphique).
- Circuit RL soumis à un échelon de tension : bilan énergétique, calcul des différentes énergies.

Lois générales de l'électrocinétique dans le cadre de l'ARQS

- Courant et tension : charges et courant électrique, intensité du courant, tension et potentiel, ordres de grandeur
- ARQS : propriété importante des régimes continus, condition d'application de l'ARQS, définitions relatives aux circuits, loi de KIRCHHOFF

- *Généralités sur les dipôles électrocinétiques* : conventions, puissance reçue, caractéristique, point de fonctionnement
 - *Dipôles linéaires usuels* : conducteur ohmique, interrupteurs, condensateur, bobine, générateurs (sources idéales de courant, de tension, et source réelle dans le modèle de THÉVENIN)
 - *Association de résistances et ponts diviseurs*
- Le courant : définitions, intensité du courant, sens conventionnel du courant... et la tension : définition du potentiel et de la tension entre 2 points, ordres de grandeur
 - ARQS : approximation et condition d'application.
 - Lois de KHIRCHHOFF et démonstrations.
 - Puissance et énergie reçues par un dipôle. Conventions.
 - Caractéristique d'un dipôle (définitions associées : symétrique, actif/passif, linéaire) et point de fonctionnement d'un circuit.
 - Conducteur ohmique, condensateur et bobine : symbole, caractéristiques, relations constitutives, puissance et énergie reçues.
 - Conducteur ohmique et interrupteurs
 - Générateurs : sources idéales de tension et de courant, source réelle et modèle de Thévenin à établir d'après la caractéristique.
 - Ponts diviseurs de tension et de courant (et démonstration)
 - Associations de résistances (et démonstrations)

Instruments d'optique

- *L'oeil* : distances focale d'un oeil émetrope au repos et en accommodation maximale, résolution, défauts et corrections
 - *L'appareil photo* : tirage, champ angulaire et focale, temps d'exposition, profondeur de champ (construction) et calcul pour un objet à l'infini uniquement.
 - *Lunette astronomique* : position des foyers, grossissement, construction.
 - *La fibre optique* : principe de fonctionnement, ouverture numérique, dispersion intermodale.
- L'oeil : présentation, calcul de la distance focale au repos et en accommodation maximale. Résolution.
 - L'appareil photo : calcul du tirage sur un exemple. Relation entre focale et champ angulaire.
 - L'appareil photo : profondeur de champ, construction dans le cas général et calcul de la position minimale visible nette pour le réglage sur un objet à l'infini.
 - Lunette astronomique : présentation, position des foyers, constructions, expression du grossissement en fonction des distances focales des lentilles.

- Fibre optique : présentation du montage, définition et expression de l'ouverture numérique.
- Fibre optique : présentation du montage, définition de la dispersion intermodale, calcul des temps de parcours extrémaux (la définition et l'expression de l'ouverture numérique en fonction des indices sera redonnée), calcul de la fréquence maximale autorisée.

Lentilles minces et applications

- *Lentilles minces* : présentation, définitions, positions des foyers, règles de construction
 - *Relation de conjugaison et de grandissement* : de DESCARTES, de NEWTON, (ces relations doivent être redonnées).
 - *Image d'un objet par une lentille* : constructions, domaines de correspondance image/objet, distance minimale entre un objet réel et son image réelle par une lentille convergente, positions d'une lentille dans les cas de BESSEL et de SILBERMAN et grandissements correspondants.
- Présentation des lentilles : schéma, définitions (foyers, distance focale, vergence, centre optique) et positions des foyers. Règles de construction.
 - Utilisation de la relation de conjugaison de Descartes et de Newton sur un exemple simple.
 - Distance minimale entre un objet réel et un image réelle par une lentille convergente : cas de SILBERMAN (résolution, construction, grandissement)
 - Calcul des 2 positions possibles d'une lentille assurant la conjugaison entre un objet réel et une image réelle pour $D > 4f'$ (positions de BESSEL).

Formations d'image par un système optique centré

- *Objet et image* : système optique, ponctuel/étendu, réel/virtuel, image ponctuelle, réelle/virtuelle
 - *Stigmatisme et aplanétisme* : définitions, stigmatisme et aplanétisme rigoureux du miroir plan (formules de conjugaison et de grandissement), stigmatisme approché du dioptré plan (non démontré, mais illustré par construction), conditions de GAUSS
 - *Systèmes optiques centrés dans les conditions de Gauss* : plan focaux et foyers, système convergent / divergent
- Objet à l'infini, diamètre apparent.
 - Stigmatisme et aplanétisme du miroir plan ; définition, illustration, formules de conjugaison et de grandissement
 - Plan focaux et foyers d'un système optique centré dans les conditions de GAUSS, système convergent, divergent, système afocal.

Lois de l'optique géométrique

- *La lumière* : longueur d'onde, vitesse de propagation dans le vide, sources de lumière
- *Propagation* : indice d'un milieu, notion de rayon lumineux, retour inverse de la lumière, principe de Fermat
- *Lois de la réflexion et de la réfraction* : définitions, lois, réfraction limite, réflexion totale.
- Propagation de la lumière : indice optique, longueur d'onde dans le vide et longueur d'onde dans le milieu, principe de Fermat, loi de retour inverse de la lumière, approximation de l'optique géométrique.
- Spectres et principe de fonctionnement de 3 sources lumineuses : lampes spectrale, laser et lampe blanche.
- Lois de DESCARTES pour la réflexion et la réfraction.
- Réfraction limite et réflexion totale.

Outils mathématiques pour la physique

- *Dimensions et unités* : définition, grandeurs dimensionnellement liées, système international, équations aux dimensions, règles de calcul sur les dimensions, unités S.I.
- *Dérivées et primitives* : dérivée (définition, nombre dérivé, interprétation graphique, dérivées des fonctions usuelles, propriétés de la dérivée), petites variations, primitives des fonctions usuelles, interprétation graphique, propriétés de l'intégration, valeur moyenne d'une fonction sur un intervalle.
- *Généralités* : Lettres grecques, aires, périmètres et volumes usuels, approximations de sin, cos et tan aux petits angles.
- Détermination d'une dimension inconnue à l'aide d'une équation aux dimensions (exemples : dimension d'une force, d'une énergie, d'une puissance, d'une pression).
- Vérification d'homogénéité à l'aide d'une équation aux dimensions (relation $\frac{Gm}{r^2} = \frac{v^2}{r}$)
- Intuire une formule à l'aide d'une équation aux dimensions (exemple de la détermination de la période d'un pendule plan)

Incertitudes de mesures

- *Variabilité d'une mesure* : écart-type, tirages au sort suivant une loi uniforme ou suivant une loi normale, code python correspondant
- *Évaluation de l'incertitude-type sur une mesure* : incertitude de type A, incertitude de type B, évaluation de l'intervalle raisonnable dans différentes situations, cas où il y a plusieurs sources d'erreur, écriture du résultat, z-score.
- *Évaluation d'une incertitude-type sur une mesure indirecte* : étude de 2 exemples, formules littérales (non exigibles).

- Incertitude de type A et de type B : expression de $u(m)$ et évaluation de l'intervalle raisonnable Δ dans différents cas (constructeur, intervalle de valeurs, graduation, appareil numérique).
- Incertitude de type B avec plusieurs sources d'erreur. Exemple de la mesure de masse au pèse-personne. Code python correspondant.
- Incertitude sur une mesure indirecte. Exemple de la mesure de l'aire d'une feuille de papier. Code python correspondant.
- Accord entre une mesure et une valeur de référence : z-score, accord entre deux mesures : z-score, accord entre une série de données et un modèle : résidus.

Traitement de données

- *Représentation graphique d'une série de mesures* : tracé des barres d'erreur
 - *Vérification de l'accord entre les données et une loi physique* : modélisation par une droite, tracé de la droite modèle, calcul et tracé des résidus
 - *Cas des lois non linéaires* : linéarisation d'une loi
 - *Détermination des paramètres d'un modèle* : à l'aide d'un calcul statistique sur l'ensemble des points, à l'aide des paramètres de la droite modèle.
-
- Linéarisation de loi physique : quel graphique tracer pour vérifier l'accord entre modèle théoriques et données expérimentales. Etude sur un exemple : $c(t) = c_0 e^{-kt}$. Code python correspondant.