

Programme de Physique en PSI

Aspect expérimental :

- Tracer le cycle d'hystérésis d'un milieu ferromagnétique.

ALI

- Mise en œuvre d'un Amplificateur Linéaire Intégré ;
- Mise en évidence de la saturation en tension ;
- Limitation en vitesse de balayage (slew rate) et estimation de son ordre de grandeur.
- Estimation du facteur de mérite ;
- Mise en évidence de la saturation en courant ;

Modulation, démodulation

- Définir un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase.
- Citer les ordres de grandeur des fréquences utilisées pour les signaux radio AM, FM, la téléphonie mobile.
- Expliquer l'intérêt et la nécessité de la modulation pour les transmissions hertziennes.
- Interpréter le signal modulé comme le produit d'une porteuse par une modulante.
- Décrire le spectre d'un signal modulé.
- A partir de l'analyse fréquentielle, justifier la nécessité d'utiliser une opération non linéaire.
- Expliquer le principe de la démodulation synchrone.
- Réaliser une modulation d'amplitude et une démodulation synchrone avec un multiplieur analogique.
- Reconnaître un montage détecteur d'enveloppe et choisir l'ordre de grandeur de sa constante de temps pour démoduler un signal à taux de modulation inférieur à 1.

Electronique numérique

- Enoncer la condition de Nyquist-Shannon pour une sinusoïde pure ($f_e > 2f$), ou pour un signal quelconque ($f_e > 2f_{max}$) ;
- Phénomène de repliement du spectre : calculer les fréquences fantômes, et identifier celles qui sont situées entre 0 et $f_e/2$, lorsque la condition de Shannon-Nyquist n'est pas vérifiée.
- Expliquer le rôle d'un filtre anti-repliement.
- Analyse spectrale numérique : choisir les paramètres (durée totale, nombre d'échantillons, fréquence d'échantillonnage) d'une acquisition, afin de respecter la condition de Nyquist-Shannon, mais aussi pour assurer une bonne résolution du spectre.
- Réaliser un filtrage numérique passe-bas d'ordre 1 d'une acquisition en utilisant la méthode d'Euler.

Stabilité des systèmes linéaires (EQ1)

- transposer la fonction de transfert opérationnelle dans les domaines fréquentiel (fonction de transfert harmonique) ou temporel (équation différentielle) ;
- discuter la stabilité d'un système du premier ou du deuxième ordre ;

Rétroaction en électronique (EQ2)

- Pour un Amplificateur Linéaire Intégré (ALI) **idéal** en **fonctionnement linéaire**, établir les lois entrée-sortie pour les montages suiveur, amplificateur non inverseur, amplificateur inverseur, intégrateur, dérivateur ;
- exprimer l'impédance d'entrée des montages précédents
- expliquer l'intérêt d'une forte impédance d'entrée et d'une faible impédance de sortie pour une association en cascade de systèmes ;
- Identifier la présence d'une rétroaction sur la borne inverseuse comme un indice de probable stabilité du régime linéaire.
- Identifier l'absence de rétroaction ou la présence d'une unique rétroaction sur la borne non inverseuse comme l'indice d'un probable comportement en saturation ;
- Citer les hypothèses du modèle ALI réel et les ordres de grandeur du gain différentiel statique μ_0 et du temps de réponse τ ;

Programme de Physique en PSI

- Pour le montage amplificateur non inverseur, représenter les relations entre les tensions d'entrée et de sortie par un schéma fonctionnel associant un comparateur (soustracteur), un passe-bas d'ordre 1 et un opérateur proportionnel ; Etablir la conservation du produit gain-bande passante.

Oscillateurs quasi-sinusoïdaux en électronique (EQ3)

- Exprimer les conditions théoriques (gain et fréquence) d'auto-oscillation sinusoïdale d'un système linéaire réalisé en bouclant un filtre linéaire avec un amplificateur ; exemple du montage avec un ALI et un pont de Wien ; exemple du montage à résistance négative.
- Analyser sur l'équation différentielle l'inégalité que doit vérifier le gain de l'amplificateur afin d'assurer le démarrage des oscillations ;
- Interpréter le rôle des non linéarités dans la stabilisation de l'amplitude des oscillations ;

Oscillateurs de relaxation en électronique (EQ4)

- Établir le cycle d'un comparateur à hystérésis. Décrire le phénomène d'hystérésis en relation avec la fonction mémoire.
- décrire les différentes séquences de fonctionnement d'un oscillateur de relaxation associant un intégrateur et un comparateur à hystérésis ;
- exprimer les conditions de basculement et déterminer la période d'oscillation.

Formulation infinitésimale des principes de la thermodynamique (TH0)

- Enoncer et exploiter le premier principe ($dU + dE_c + dE_p = \delta W + \delta Q$ ou $dU = \delta W + \delta Q$) pour une transformation élémentaire.
- Enoncer et exploiter le second principe ($dS = \delta S_e + \delta S_c$) pour une transformation élémentaire, avec $\delta S_e = \frac{\delta Q}{T_0}$ pour une évolution monotherme.
- Utiliser les notations d et δ en leur attachant une signification.

Bilans d'énergie et d'entropie (TH1) :

Système ouvert, système fermé : Définir un système fermé approprié pour réaliser un bilan de grandeur extensive

Exprimer les principes de la thermodynamique pour un écoulement stationnaire en vue de l'étude d'une machine thermique sous la forme :

- $\Delta h + \Delta e_c + \Delta(gz) = w_u + q$;
- $\Delta s = s_e + s_c$,

Δ signifiant « valeur à la sortie moins valeur à l'entrée ».

La démonstration de ces relations est exigible.

Etudier des propriétés des machines thermodynamiques réelles à l'aide de diagrammes (P, h).

Diffusion thermique (TH2)

- Mise en évidence expérimentale : expérience de Ingen Housz.
- Les 3 modes de transfert thermique.
- Vecteur densité de flux thermique conductif ; flux thermique conductif.
- Loi de Fourier.
- Notion d'équilibre thermodynamique local ; établissement du bilan d'énergie en 1D, 2D puis 3D, pour un problème ne dépendant à chaque fois que d'une coordonnée d'espace (dans le système de coordonnées approprié), avec un terme de création. Généralisation avec l'opérateur divergence.
- Equation de la diffusion thermique, en 1D ou 2D ou 3D, avec un terme de création. Formulation générale avec l'opérateur laplacien.
- Caractéristiques de l'équation de la diffusion : irréversibilité, longueur et temps caractéristiques.
- Conditions aux limites : continuité du flux thermique, de la température pour un contact thermique parfait ; discontinuité de la température dans le cadre de la loi de Newton (non exigible) pour les transferts conducto-convectifs, condition aux limites imposée par une paroi calorifugée.
- Régime stationnaire : définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Enoncer les conditions d'application de l'analogie. Etablir l'expression de la résistance thermique d'un cylindre calorifugé latéralement. Exploiter des associations de résistances thermiques en série ou en parallèle.
- ARQS thermique : Mettre en évidence un temps caractéristique d'évolution de la température. Justifier l'ARQS. Etablir l'analogie avec un circuit électrique RC.

Programme de Physique en PSI

- Effet de peau thermique : mettre en évidence le déphasage lié à la propagation ; établir une distance caractéristique de l'atténuation.

Diffusion de particules (TH3)

- Citer les 2 modes de transfert : diffusion et convection.
- Vecteur densité de courant de particules \vec{j}_n : exprimer le débit de particules comme le flux du vecteur \vec{j}_n à travers une surface orientée.
- Énoncer et utiliser la loi phénoménologique de Fick.
- Bilan de particules : établir l'équation locale de bilan de particules avec ou sans terme de source (ce type de bilan a été fait, avec terme de source, en thermique, mais pas refait dans ce chapitre ; les étudiants doivent être capables de réemployer la démarche du chapitre précédent).
- Établir l'équation de diffusion ; la relier à l'irréversibilité temporelle du phénomène.

Statique des fluides (MF0)

- Définir une particule de fluide comme un système mésoscopique de masse constante.
- Identifier la force de pression comme étant une action normale à la surface.
- Utiliser l'équivalent volumique des actions de pression $-\overline{\text{grad}P}$.
- Écrire la relation fondamentale de la statique des fluides.
- Exprimer l'évolution de la pression avec l'altitude dans les cas d'un fluide incompressible et dans le cas de l'atmosphère isotherme modélisée comme un gaz parfait.
- Citer des ordres de grandeur des masses volumiques de l'eau et de l'air dans les conditions usuelles.
- Définir la poussée d'Archimède, énoncer et utiliser le théorème d'Archimède, dans un référentiel galiléen.
- Utiliser la propriété selon laquelle quand la pression autour d'un objet est uniforme, la résultante des forces de pression sur cet objet est nulle.

Débits et lois de conservation (MF1)

- Distinguer les descriptions eulérienne et lagrangienne. Définir une ligne de courant (les calculs des équations des lignes de courant ne sont pas au programme, pas plus que ceux des trajectoires). Définir un tube de courant.
- Distinguer vitesse microscopique et vitesse mésoscopique.
- Dérivée particulaire du vecteur vitesse : terme local ; terme convectif. Associer la dérivée particulaire du vecteur vitesse à l'accélération de la particule de fluide qui passe en un point.
- Citer et utiliser l'expression de l'accélération avec le terme convectif sous la forme $\vec{v} \cdot \overline{\text{grad}} \vec{v}$
- Écrire l'expression du vecteur densité de courant de masse.
- Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur densité de courant de masse, à travers une surface orientée.
- Écrire les équations bilans, globale ou locale, traduisant la conservation de la masse.
- Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux du champ des vitesses à travers une surface orientée.
- Exploiter le fait que pour un écoulement homogène et incompressible, le champ des masses volumiques est uniforme et stationnaire, c'est-à-dire indépendant de l'espace et du temps.
- Établir que si un écoulement est stationnaire, alors le vecteur densité de courant de masse est à flux conservatif.
- Utiliser l'idée que si un écoulement est incompressible, alors le champ des vitesses est à flux conservatif.

Modèle de l'écoulement parfait : adiabatique, réversible, non visqueux (MF2)

- Définir un écoulement parfait : adiabatique, réversible, non visqueux.
- Établir le lien entre l'énergie interne massique et l'enthalpie massique.
- Énoncer et appliquer la relation de Bernoulli à un écoulement parfait, stationnaire, homogène et incompressible le long d'une ligne de courant.
- Utiliser la conservation de la quantité $P + \mu gz$ (« pression motrice ») au sein d'un écoulement uniforme stationnaire, homogène et incompressible.
- Décrire l'effet Venturi. Décrire les applications classiques et les mettre en équation : tube de Pitot, débitmètre.
- Énoncer et démontrer la formule de Toricelli pour les écoulements quasi-stationnaires (et parfaits, homogènes incompressibles).

Programme de Physique en PSI

- Déterminer la puissance mécanique échangée avec une pompe, hélice ou turbine en écoulement parfait, stationnaire, homogène et incompressible.
- À partir d'une surface de contrôle ouverte vis-à-vis des échanges, définir un système fermé approprié pour réaliser un bilan de grandeur extensive. Applications : bilan d'énergie mécanique dans un écoulement parfait non stationnaire (exemple des oscillations dans un tube en U) ; bilan de quantité de mouvement pour un système fermé, en faisant l'inventaire des forces extérieures (exemple de la fusée à réaction, d'un jet sur une plaque, de l'hélice tractrice) ; effectuer un bilan de moment cinétique.

Actions de contact sur un fluide en écoulement (MF3)

- Établir l'expression de la force surfacique de viscosité dans le cas d'un écoulement plan d'un fluide newtonien (Couette plan, Poiseuille plan).
- Citer la condition d'adhérence à l'interface fluide -solide, ou fluide-fluide.
- Exploiter la forme du profil du champ des vitesses pour ces écoulements plans (en négligeant la pesanteur pour l'écoulement de Poiseuille plan).
- Exprimer la dimension du coefficient de viscosité dynamique.
- Citer l'ordre de grandeur de la viscosité de l'eau (à température ambiante).

Écoulement homogène et incompressible dans une conduite cylindrique (MF4)

- Vitesse débitante : la relier au débit volumique.
- Écoulements laminaires et turbulents : décrire ces 2 régimes.
- Décrire qualitativement les 2 modes de transfert de quantité de mouvement : convection et diffusion.
- Interpréter le nombre de Reynolds comme le rapport d'un temps caractéristique de diffusion de quantité de mouvement sur un temps caractéristique de convection, ou comme un rapport de flux surfaciques.
- Évaluer le nombre de Reynolds et l'utiliser pour caractériser le régime d'écoulement.
- Établir la forme du profil du champ des vitesses pour un écoulement de Poiseuille (Re faible) dans une conduite cylindrique circulaire, en négligeant la pesanteur, et en raisonnant sur une portion de fluide de longueur l et de rayon r .
- Dans le cas d'un écoulement à bas nombre de Reynolds, établir la loi de Hagen-Poiseuille et en déduire la résistance hydraulique. Analogies électriques.
- Chute de pression dans une conduite horizontale : exploiter le graphe de la chute de pression en fonction du nombre de Reynolds, pour un régime d'écoulement quelconque.
- Exploiter un paramétrage permettant de transposer des résultats expérimentaux ou numériques sur des systèmes similaires adimensionnés réalisés à des échelles différentes.

Écoulement externe homogène et incompressible autour d'un obstacle (MF5)

- Décrire qualitativement la notion de couche limite.
- Force de traînée subie par une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme. Coefficient de traînée C_x ; graphe de C_x en fonction du nombre de Reynolds : associer une gamme de nombre de Reynolds à un modèle de traînée linéaire ou un modèle quadratique.
- Force de traînée et de portance d'une aile d'avion à haut Reynolds : définir et orienter les forces de portance et de traînée ; exploiter les graphes de C_x et C_z en fonction de l'angle d'incidence.

Electromagnétisme en régime statique : le champ électrique (EMG1)

Exploiter les symétries et invariances d'une distribution de charges pour en déduire des propriétés du champ électrique.

Citer les équations de Maxwell-Gauss et Maxwell-Faraday en régime stationnaire.

Relier l'existence du potentiel scalaire au caractère irrotationnel du champ électrostatique.

Exprimer une différence de potentiel comme une circulation du champ électrique.

Établir l'équation de Poisson, reliant le potentiel à la densité de charges.

Établir la relation $E_p = qV$ pour l'énergie potentielle d'une charge ponctuelle dans un champ électrique extérieur.

Énoncer et appliquer le théorème de Gauss.

Établir un tableau d'analogies entre les champs électrique et gravitationnel.

Programme de Physique en PSI

Associer l'évasement des tubes de champ à l'évolution de la norme de \vec{E} dans les zones de charge nulle. Représenter les lignes de champ connaissant les surfaces équipotentielles et inversement. Evaluer le champ électrique à partir d'un réseau de surfaces équipotentielles.

Etablir le champ électrique et le potentiel créés par : une charge ponctuelle, une distribution de charges à symétrie sphérique, une distribution de charges à symétrie cylindrique.

Utiliser le modèle de la distribution surfacique de charges. Etablir le champ électrique créé par un plan infini uniformément chargé en surface.

Exploiter le théorème de superposition.

Charges et courant électrique (EMG2)

Densité volumique de charge électrique ρ , densité de charges mobiles ρ_m , vecteur densité de courant électrique \vec{j} : passer d'une description microscopique (porteurs de charges, vitesse des porteurs) aux grandeurs mésoscopiques ρ_m et \vec{j} . Décrire les différents types de porteurs de charge. Faire la distinction entre charges mobiles et charges fixes.

Intensité du courant électrique : écrire l'intensité comme le flux du vecteur densité de courant électrique à travers une surface orientée.

Bilan de charge : établir l'équation locale traduisant la conservation de la charge électrique en coordonnées cartésiennes à une dimension. Citer l'équation locale dans le cas tridimensionnel et en interpréter chacun des termes.

Régime stationnaire : définir une ligne de courant et un tube de courant. Exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant électrique. Relier cette propriété à la loi des nœuds usuelle en électrocinétique.

Loi d'Ohm locale : relier le vecteur densité de courant au champ électrique dans un conducteur ohmique. Citer l'ordre de grandeur de la conductivité du cuivre.

Modèle de Drüde : en régime stationnaire, établir une expression de la conductivité électrique à l'aide de ce modèle microscopique.

Résistance d'un conducteur cylindrique : établir l'expression de la résistance d'un câble cylindrique parcouru uniformément par un courant parallèle à son axe : $R = \frac{1}{\gamma} \frac{L}{S}$.

Puissance électrique, effet Joule : puissance volumique $\vec{j} \cdot \vec{E}$ cédée aux porteurs de charges mobiles ; cas des milieux ohmiques : établir l'expression de la puissance volumique γE^2 reçue par un conducteur ohmique ; interpréter l'effet Joule.

Condensateur plan (EMG3)

- Décrire qualitativement le phénomène d'influence.
- Exprimer le champ d'un condensateur plan en négligeant les effets de bord. En déduire l'expression de sa capacité.
- Prendre en compte la permittivité de l'isolant dans l'expression de la capacité.
- Citer l'expression de la densité volumique d'énergie électrique. La retrouver à partir de la relation $E_e = \frac{1}{2} C U^2$ dans le cas d'un condensateur plan.

Electromagnétisme en régime statique : le champ magnétique (EMG4)

- Notion de champ magnétique et caractère axial de celui-ci.
- Distribution volumique et linéique de courants (surfacique hors-programme).
- Equations de Maxwell-Ampère et Maxwell-Thomson dans le cadre de la magnétostatique.
- Propriété topographique du champ magnétique : flux conservatif.
- Théorème d'Ampère dans le cas d'une distribution linéique de courant puis volumique. Démonstration.
- Symétries et antisymétries d'une distribution de courants ; antisymétries et symétries du champ magnétostatique.
- Méthode pour le calcul d'un champ magnétique créé par une distribution de courant à symétrie élevée.
- Champ magnétique créé par un fil infini, par un cylindre circulaire infini (parcouru par une densité de courant uniforme), par un solénoïde infini (en admettant que le champ est nul à l'extérieur), par une bobine torique à section rectangulaire.
- Force de Laplace exercée sur une distribution volumique de courant ou sur une portion de conducteur filiforme.

Electromagnétisme dans l'ARQS (EMG5)

- Vérifier que le terme de courant de déplacement permet d'assurer la compatibilité des équations de Maxwell avec la conservation de la charge.

Programme de Physique en PSI

- ARQS « magnétique » : simplifier les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans l'ARQS en admettant que les courants de déplacement sont négligeables. Étendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.
- Induction : relier la circulation de \vec{E} à la dérivée temporelle du flux magnétique, faire qualitativement le lien avec la loi de Faraday vue en première année.
- Courants de Foucault : dans le cas d'un conducteur cylindrique soumis à un champ magnétique parallèle à son axe, uniforme et oscillant, décrire la géométrie des courants de Foucault, exprimer la puissance dissipée par effet Joule en négligeant le champ créé par les courants de Foucault devant le champ appliqué. Expliquer l'intérêt du feuilletage pour minimiser les courants de Foucault.
- Énergie magnétique : exprimer l'énergie magnétique d'une bobine seule ou de deux bobines couplées en fonction des coefficients d'inductance et des intensités. Citer l'expression de la densité volumique d'énergie magnétique. La retrouver dans le cas de la bobine dont on néglige les effets de bord, à partir de la relation $\mathcal{E}_m = 1/2 Li^2$. Exploiter la continuité temporelle du flux magnétique.
- Couplage partiel ou total : dans le cas de deux bobines couplées, établir l'inégalité $M^2 \leq L_1 L_2$.

Milieux ferromagnétiques (EMG6)

- À partir d'une formule fournie exprimant le champ d'un dipôle magnétique, décrire le champ créé par un aimant à grande distance et représenter qualitativement les lignes de champ magnétique.
- Actions subies par un dipôle magnétique dans un champ extérieur : utiliser les expressions **fournies** de l'énergie potentielle, de la résultante et du moment. Décrire qualitativement l'évolution d'un dipôle magnétique dans un champ extérieur. Citer l'ordre de grandeur du champ géomagnétique en France.
- Définir le champ d'aimantation \vec{M} d'un milieu magnétique.
- Associer à une distribution d'aimantation une densité de courants « liés » (ou « d'aimantation ») équivalente $\vec{j}_{lié}$ (ou \vec{j}_m), avec $\vec{j}_{lié} = \text{rot} \vec{M}$ (relation admise).
- Définir l'excitation magnétique \vec{H} en la reliant à \vec{B} et \vec{M} , et écrire l'équation de Maxwell-Ampère dans un milieu magnétique dans l'ARQS. En déduire qualitativement que les sources de \vec{H} sont les courants électriques libres et que les sources de \vec{B} sont à la fois les courants électriques libres et l'aimantation.
- Représenter l'allure des cycles d'hystérésis (H,M) et (H,B) d'un milieu ferromagnétique. Distinguer milieu dur et milieu doux ; citer des exemples. Modéliser un milieu doux par une relation constitutive linéaire $\vec{B} = \mu \vec{H}$. Définir la perméabilité relative μ_r et donner un ordre de grandeur.
- Établir l'expression de l'inductance propre d'une bobine à noyau sans entrefer ; vérifier l'expression de l'énergie magnétique $\mathcal{E}_m = \iiint_V \frac{B^2}{2\mu_0\mu_r} d\tau$.
- Pertes d'une bobine réelle à noyau : exprimer le lien entre l'aire du cycle d'hystérésis et la puissance moyenne absorbée par hystérésis. Décrire les différents termes de perte d'une bobine à noyau : pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis, pertes cuivre.

Phénomènes de propagation unidimensionnels non dispersifs (OND1)

Définir une onde longitudinale et une onde transversale.

Ondes de tension et de courant dans un câble coaxial sans pertes : décrire le modèle (milieu continu avec inductance linéique et capacité linéique), et établir les équations de propagation.

Equation de d'Alembert : identifier une telle équation. Exprimer la célérité en fonction des paramètres de la ligne.

Ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses : établir l'équation d'onde en utilisant des systèmes infinitésimaux.

Exemples de solutions de l'équation de d'Alembert 1D :

- Ondes planes progressives harmoniques : définir une onde progressive, établir la relation de dispersion à partir de l'équation de d'Alembert ; utiliser la notation complexe ; définir le vecteur d'onde, la vitesse de phase ; décomposer une onde plane progressive harmonique en ondes stationnaires.
- Ondes planes stationnaires harmoniques : retrouver la distance égale à $\frac{\lambda}{2}$ entre deux nœuds ou deux ventres consécutifs ; décomposer une onde plane stationnaire harmonique en ondes progressives.

Ensemble de 2 oscillateurs couplés ; modes propres.

Conditions aux limites : justifier et exploiter des conditions aux limites pour des cordes (bout fixe, bout libre), pour des lignes coaxiales (court-circuit, circuit ouvert).

Régime libre d'une corde fixée aux deux bouts : définir et décrire les modes propres. Construire une solution quelconque par superposition de modes propres.

Régime forcé : résonances de la corde de Melde ; associer ces résonances aux modes propres.

Établir l'expression de l'impédance caractéristique d'un câble coaxial.

Établir le coefficient de réflexion complexe pour la tension dans une ligne coaxiale sur une impédance terminale en régime harmonique.

Programme de Physique en PSI

Coefficient de réflexion réel pour une impédance résistive. Cas particuliers du court-circuit, du circuit ouvert, de la ligne adaptée.

Ondes sonores dans les fluides (OND2)

Classer les ondes sonores par domaines fréquentiels.

Énoncer les hypothèses de l'approximation acoustique.

Écrire les équations locales linéarisées (dans le cadre de l'approximation acoustique) : conservation de la masse, équation de la dynamique, équation thermodynamique.

Établir l'équation de propagation de la surpression formulée avec l'opérateur laplacien.

Exprimer la célérité des ondes sonores dans les fluides, puis dans le cas des gaz parfaits, l'exprimer en fonction de la température. Citer les ordres de grandeur de la célérité pour l'air et pour l'eau.

Utiliser les expressions admises du vecteur densité de courant énergétique et de la densité volumique d'énergie associés à la propagation de l'onde.

Définir l'intensité sonore en W/m^2 et le niveau d'intensité sonore en dB. Citer quelques ordres de grandeur de niveau d'intensité sonore (minimum d'audition, seuil de douleur, conversation).

Ondes planes progressives harmoniques : décrire le caractère longitudinal de l'onde sonore ; établir et utiliser l'impédance acoustique, définie comme le rapport de la surpression sur la vitesse ou comme le rapport de la surpression sur le débit volumique. Utiliser le principe de superposition d'ondes planes progressives harmoniques pour obtenir une onde plane progressive non harmonique.

Discuter de la validité du modèle de l'onde plane en relation avec le phénomène de diffraction.

Justifier les hypothèses de l'approximation acoustique par des ordres de grandeur.

Ondes sonores sphériques : commenter l'expression de la surpression $p(r, t)$ proportionnelle à $\frac{1}{r} \cos\left(\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)\right)$

générée par une sphère pulsante : atténuation géométrique, structure locale d'onde plane.

Réflexion et transmission d'une onde sonore plane sous incidence normale sur une interface plane infinie entre deux fluides : expliciter les conditions aux limites sur l'interface ; établir les expressions des coefficients de transmission et de réflexion en amplitude pour la surpression, pour la vitesse et pour la puissance. Relier l'adaptation des impédances au transfert maximum de puissance.

Ondes électromagnétiques dans le vide (OND3) :

Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.

Établir les équations de propagation dans une région sans charge ni courant.

Structure d'une onde plane progressive harmonique : utiliser la notation complexe ; représenter le trièdre $(\vec{u}, \vec{E}, \vec{B})$. Établir la relation entre les amplitudes des champs (« relation de structure »).

Identifier les différents termes de l'équation locale de Poynting. Interpréter le vecteur de Poynting comme le vecteur densité de flux de puissance électromagnétique.

Associer la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde. Associer le flux du vecteur de Poynting à un flux de photons en utilisant la relation d'Einstein-Planck.

Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens (laser hélium-néon, flux solaire, ...)

Utiliser le principe de superposition d'ondes planes progressives harmoniques.

Identifier l'expression d'une onde électromagnétique plane progressive polarisée rectilignement.

Interpréter le vecteur densité de courant surfacique \vec{j}_s comme un modèle pour décrire un déplacement de charges à travers un domaine d'épaisseur faible devant l'échelle de description.

Utiliser les relations de passage du champ électromagnétique fournies.

Réflexion d'une onde électromagnétique polarisée rectilignement sur un conducteur parfait en incidence normale : justifier que les champs électrique et magnétique sont nuls dans le conducteur. Exploiter la continuité de la composante tangentielle du champ \vec{E} pour justifier l'existence d'une onde réfléchie et calculer celle-ci. Calculer le champ \vec{B} dans le vide, en déduire le courant surfacique sur le conducteur. Calculer le coefficient de réflexion en puissance.

Déterminer la pression de radiation à l'aide de l'expression fournie de la force de Laplace en présence d'un courant électrique surfacique.

Dispersion et absorption (OND4)

Forme générique des solutions progressives sinusoïdales : $y = y_0 \exp(\omega t - \underline{k}x)$: identifier le caractère linéaire d'une équation aux dérivées partielles de propagation.

Établir la relation de dispersion.

Lier la partie réelle de \underline{k} à la vitesse de phase, la partie imaginaire de \underline{k} à une dépendance spatiale de l'amplitude.

Définir la notion de milieu dispersif.

Superposition de deux ondes de fréquences proches dans un milieu non absorbant et dispersif. Notion de paquet d'ondes. Calculer la vitesse de groupe à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes. Énoncer et exploiter la relation entre les ordres de grandeur de la durée temporelle d'un paquet d'onde et la largeur fréquentielle de son spectre.

Établir la relation de dispersion des ondes thermiques en géométrie unidirectionnelle.

Programme de Physique en PSI
Ondes électromagnétiques dans des milieux conducteurs (OND5)

Ondes électromagnétiques planes dans un conducteur ohmique de conductivité réelle : effet de peau. Repérer l'analogie avec les phénomènes de diffusion. Etablir la relation de dispersion. Associer l'atténuation de l'onde à une dissipation d'énergie. Citer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre à 50 Hz. Modèle du conducteur parfait en présence d'un champ électromagnétique variable : justifier que les champs électrique et magnétique sont nuls dans le conducteur.

Interaction entre une onde plane progressive harmonique et un plasma localement neutre peu dense : décrire le modèle de la conduction électrique dans un plasma. Construire une conductivité complexe en justifiant les approximations. Associer le caractère imaginaire pur de la conductivité complexe à l'absence de puissance moyenne échangée entre le champ et les porteurs de charge.

Equation de propagation dans le plasma, onde plane progressive dans le plasma : établir la relation de dispersion. Distinguer qualitativement les ondes évanescentes (ondes stationnaires spatialement amorties) et les ondes progressives du point de vue du transport de l'énergie. Expliquer la notion de fréquence de coupure dans un plasma et donner son ordre de grandeur dans le cas de l'ionosphère.

Puissance électrique en régime sinusoïdal (CP1)

- Définir le facteur de puissance, faire le lien avec la représentation des tensions et des courants sur un diagramme de Fresnel. Citer et exploiter la relation $P = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi$ (notée souvent $UI \cos \varphi$).
- Puissance moyenne absorbée par une impédance : citer et exploiter les relations $P = \Re(\underline{Z}) I_{eff}^2$ et $P = \Re(\underline{Y}) U_{eff}^2$. Justifier qu'un dipôle purement réactif n'absorbe aucune puissance en moyenne.
- Expliquer pourquoi les fournisseurs d'énergie électrique souhaitent que leurs clients aient un facteur de puissance proche de 1.

Conversion électronique de puissance CP2

- Forme continue et alternative de la puissance électrique
- Structure d'un convertisseur électronique statique.
- Décrire la caractéristique courant-tension d'une diode idéale
- Décrire la caractéristique courant-tension d'un transistor idéal
- Définir les notions de sources de courant et de tension, au sens large
- Expliquer le rôle d'une bobine pour lisser un courant, d'un condensateur pour lisser une tension.
- Caractériser les sources par leur réversibilité en tension, en courant, en puissance.
- Citer des exemples illustrant une nécessité de conversion de puissance électrique.
- Citer les 4 règles d'interconnexion entre les sources.

Hacheur CP3

- Notions de base sur le moteur à courant continu (**en tant que « boîte noire »**).
- Expliquer le fonctionnement d'une cellule élémentaire à deux interrupteurs assurant le transfert d'énergie entre une source de tension et une source de courant.
- Tracer des chronogrammes, exploiter le fait que la moyenne d'une dérivée est nulle en régime périodique établi, calculer des moyennes de fonctions affines par morceaux, utiliser un bilan de puissance moyenne pour établir des relations entre les tensions et les intensités.
- Justifier les choix des fonctions de commutation pour un hacheur série assurant l'alimentation d'un moteur à courant continu à partir d'un générateur idéal de tension continue. Exprimer les valeurs moyennes des signaux. Calculer l'ondulation en intensité dans l'approximation d'un hachage à haute fréquence réalisant une intensité affine par morceaux.

Onduleur CP4

- Décrire la structure en pont à quatre interrupteurs et les séquences de commutation pour une fréquence de commutation permises.
- Etude du courant dans une charge {R,L}.
- Etudier, pour un générateur de tension continue et une charge {R,L}, la réalisation d'une intensité quasi-sinusoïdale par modulation de largeur d'impulsion.

Transformateur monophasé (CP5)

- Modèle du transformateur idéal : citer les hypothèses de ce modèle ; établir les lois de transformation des tensions et des courants du transformateur idéal, en respectant l'algébrisation associée aux bornes homologues. Relier le transfert instantané et parfait de puissance à une absence de pertes et de stockage de l'énergie électromagnétique.

Programme de Physique en PSI

- Pertes : citer les pertes cuivre, les pertes fer par courants de Foucault et par hystérésis. Décrire des solutions permettant de réduire ces pertes.
- Etablir le transfert d'impédance entre le primaire et le secondaire.
- Expliquer le rôle du transformateur pour l'isolement galvanique.
- Expliquer l'intérêt du transport de l'énergie électrique à haute tension afin de réduire les pertes en ligne.

Conversion électro-magnéto-mécanique : exemple du contacteur électromagnétique (CP6)

- Exprimer l'énergie magnétique d'un enroulement enlaçant un circuit magnétique présentant un entrefer variable.
- Calculer la force électromagnétique s'exerçant sur une partie mobile en translation selon un axe Oz en appliquant l'expression fournie $F = \left(\frac{\partial \mathcal{E}_{em}}{\partial z} \right)_i$, où \mathcal{E}_{em} représente l'énergie électromagnétique (par exemple limitée à \mathcal{E}_m ou \mathcal{E}_e).
- Sur l'exemple du relais, expliquer le fonctionnement d'un contacteur électromagnétique.

Machine synchrone (CP7)

- Structure d'un moteur synchrone à pôles lisses et à excitation séparée : décrire la structure d'un moteur diphasé et bipolaire (rotor, stator, induit, inducteur).
- Champ magnétique dans l'entrefer : pour une machine de perméabilité infinie à entrefer constant, exprimer le champ magnétique dans l'entrefer généré par une spire passant dans deux encoches opposées. Expliquer qualitativement comment obtenir un champ dont la dépendance angulaire est sinusoïdale dans l'entrefer, en associant plusieurs spires décalées.
- Champ glissant statorique : justifier l'existence d'un champ glissant statorique lorsque les deux phases sont alimentées en quadrature (c'est-à-dire déphasées de $\frac{\pi}{2}$).
- Champ glissant rotorique : justifier l'existence d'un champ glissant rotorique associé à la rotation de l'inducteur.
- Energie et couple : exprimer l'énergie magnétique totale stockée dans l'entrefer en fonction de la position angulaire du rotor. Calculer le moment du couple électromagnétique s'exerçant sur le rotor, en exploitant l'expression fournie $\Gamma = \frac{\partial \mathcal{E}_m}{\partial \theta}$.
- Condition de synchronisme : justifier la condition de synchronisme entre le champ statorique et le champ rotorique afin d'obtenir un moment moyen de couple non nul. Discuter rapidement de la stabilité du système en fonction du décalage angulaire entre les deux champs glissants. Identifier la difficulté du démarrage d'un moteur synchrone, décrire qualitativement le principe de l'alimentation de la machine à fréquence variable.

Machine à courant continu (CP8)

- Structure d'un moteur à courant continu à pôles lisses : décrire la structure d'un moteur bipolaire à excitation séparée (rotor, stator, induit, inducteur).
- Collecteur : par analogie avec le moteur synchrone, expliquer que le collecteur établit le synchronisme entre le champ statorique stationnaire et le champ rotorique quelle que soit la position angulaire du rotor.
- Couple et fcém : citer l'expression du couple $\Gamma = \phi_0 i$, établir l'expression de la fcém induite $e = \phi_0 \omega$ par un argument de conservation énergétique. Décrire qualitativement les pertes existant dans une machine réelle : pertes cuivre, pertes fer, pertes mécaniques. Etablir les équations électrique et mécanique. Tracer la caractéristique (ω, Γ) à tension d'induit constante. Analyser le démarrage d'un moteur entraînant une charge mécanique exerçant un moment $-f \omega$.