GUIDE DE REVISION 2026

En jaune sont surlignées les questions de cours classiques à connaître parfaitement.

1. Optique

Notions et contenus	Capacités exigibles	
1.1 Modèle scalaire des ondes lumineuses		
Modèle de propagation dans l'approximation de l'optique géométrique. Vibration lumineuse.	Associer la grandeur scalaire de l'optique à une composante d'un champ électrique.	**Cours O1**
Chemin optique. Déphasage du a la Propagation	Exprimer le retard de phase en un point en fonction du retard de propagation ou du chemin optique.	**Exercice 1 page 1**
Surfaces d'ondes. Théorème de Malus. Onde plane, onde sphérique ; effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Utiliser l'égalité des chemins optiques sur les rayons d'un point objet à son image. Associer une description de la formation des images en termes de rayon lumineux et en termes de surfaces d'onde..	**Exercice 2 page 1**
Modèle d'émission. Largeur spectrale. Cohérence temporelle.	Classer différentes sources lumineuses (lampe spectrale basse pression, laser, source de lumière blanche…) en fonction du temps de cohérence de leurs diverses radiations. Citer quelques ordres de grandeur des longueurs de cohérence temporelle associées a différentes sources. Relier, en ordre de grandeur, le temps de cohérence et la largeur spectrale de la radiation considérée.	**Cours O1** **Exercice 3 page 1**
Réception d'une onde lumineuse. Récepteurs. Intensité lumineuse.	Comparer le temps de réponse d'un récepteur usuel (œil, photodiode, capteur CCD) aux temps caractéristiques des vibrations lumineuses. Relier l'intensité lumineuse a la moyenne temporelle du carre de la grandeur scalaire de l'optique. **Mettre en œuvre un capteur optique**	**Cours O1** **TP 4**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
1.2 Superposition d'ondes lumineuses		
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques non synchrones ou Incohérentes entre elles.	Justifier et utiliser l'additivité des intensités.	**Cours O2**
Superposition de deux ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles : formule de Fresnel	Etablir la formule de Fresnel. Identifier une situation de cohérence entre deux ondes et utiliser la formule de Fresnel.	**Exercice 4 page 2**
Contraste	Associer un bon contraste a des ondes d'intensités voisines.	
Superposition de N ondes quasi-monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique dans le cas N>>1.	Expliquer qualitativement l'influence de N sur l'intensité et la finesse des franges brillantes observées. Etablir, par le calcul, la condition d'interférences constructives et la demi largeur $2\pi/N$ des franges brillantes. Etablir et utiliser la formule indiquant la direction des maxima d'intensité derrière un réseau de fentes rectilignes parallèles.	**Cours O5** **Exercice 20 page 9** **Exercice 20 page 9**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
1.3 Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young		
Dispositif-modèle des trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif (source ponctuelle à grande distance finie ; observation à grande distance finie). Champ d'interférences. Ordre d'interférences. -- Franges d'interférences.	Définir, déterminer et utiliser l'ordre d'interférences. -- Justifier la forme des franges observées sur un écran éloigne parallèle au plan contenant les trous d'Young.	Exercice 6 page 3
Du dispositif-modèle au dispositif réel. Fentes d'Young. Montage de Fraunhofer.	Identifier l'effet de la diffraction sur la figure observée. Expliquer l'intérêt pratique du dispositif des fentes d'Young comparativement aux trous d'Young. Exprimer l'ordre d'interférences sur l'écran dans le cas d'un dispositif des fentes d'Young utilisé en configuration de Fraunhofer	Exercice 7 page 3
Perte de contraste par élargissement spatial de la source.	Utiliser un critère semi-quantitatif de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences pour interpréter des observations expérimentales.	Exercice 9 page 4
Perte de contraste par élargissement spectral de la source.	Utiliser un critère semi-quantitatif de brouillage des franges portant sur l'ordre d'interférences pour interpréter des observations expérimentales. Relier la longueur de cohérence temporelle, la largeur spectrale et la longueur d'onde en ordres de grandeur.	Exercice 10 page 5
Observations en lumière blanche (blanc d'ordre supérieur, spectre cannelé).	Déterminer les longueurs d'ondes des cannelures.	Exercice 16 page 8

Notions et contenus	Capacités exigibles	
1.4 Exemple de dispositif interférentiel par division d'amplitude : interféromètre de Michelson		
Interféromètre de Michelson équivalent à une lame d'air éclairée par une source spatialement étendue. Localisation des franges. Franges d'égale inclinaison.	Justifier les conditions d'observation des franges d'égale inclinaison, le lieu de localisation des franges étant admis. Etablir et utiliser l'expression de l'ordre d'interférences en fonction de l'épaisseur de la lame, l'angle d'incidence et la longueur d'onde. **Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation adaptées à l'utilisation d'un interféromètre de Michelson en lame d'air.** **Mesurer l'écart en longueur d'onde d'un doublet et la longueur de cohérence d'une radiation.** **Interpréter des observations faites en lumière blanche avec l'interféromètre de Michelson en configuration lame d'air.**	Exercice 12 page 6 Exercice 13 page 6 TP 6 Exercice 15 page 7
Interféromètre de Michelson équivalent à un coin d'air éclairé par une source spatialement étendue. Localisation des franges. Franges d'égale épaisseur.	Justifier les conditions d'observation des franges d'égale épaisseur, le lieu de	Exercice 17 page 8

	localisation des franges étant admis. Utiliser l'expression donnée de la différence de marche en fonction de l'épaisseur pour exprimer l'ordre d'interférences. **Décrire et mettre en œuvre les conditions d'éclairage et d'observation adaptées à l'utilisation d'un interféromètre de Michelson en coin d'air.** **Caractériser la géométrie d'un objet ou l'indice d'un milieu à l'aide d'un interféromètre de Michelson.** **Interpréter des observations faites en lumière blanche avec l'interféromètre**	 **TP 7** **Exercice 18 page 8**

2. Électronique

Notions et contenus	Capacités exigibles	
Production, acquisition et traitement d'un signal électrique. Oscillateur quasi-sinusoïdal réalise en bouclant un filtre passe-bande du deuxième ordre avec un amplificateur. -- Echantillonnage. -- Condition de Nyquist-Shannon -- Détection synchrone.	 **Mettre en œuvre un oscillateur quasi sinusoïdal et analyser les spectres des signaux générés.** -- **Expliquer l'influence de la fréquence d'échantillonnage.** -- **Utiliser la condition de Nyquist-Shannon.** **Mettre en évidence le phénomène de repliement de spectre au moyen d'un oscilloscope numérique ou d'une acquisition numérique.** -- **Mettre en œuvre un protocole de détection synchrone.**	 TP 9 **Exercice 2 page 11** TP 1 **Exercice 1 page 11** TP 1 TP 14

3. Thermodynamique

Notions et contenus	Capacités exigibles	
3.1 Systèmes ouverts en régime stationnaire		
Premier et deuxième principes de la thermodynamique pour un système ouvert en régime stationnaire, dans le seul cas d'un écoulement unidimensionnel dans la section d'entrée et la section de sortie.	Établir les relations $\Delta h+\Delta e= w_u+q$ et $\Delta s=s_e+s_c$ et les utiliser pour étudier des machines thermiques réelles à l'aide de diagrammes thermodynamiques (T,s) et (P,h).	**Exercice 4 page 13**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
3.2 Diffusion de particules		
Vecteur densité de flux de particules $\mathbf{j_N}$. -- Bilans de particules. -- Loi de Fick.	Exprimer le flux de particules traversant une surface orientée en utilisant le vecteur $\mathbf{j_N}$ -- Utiliser la notion de flux pour traduire un bilan global de particules. Etablir l'équation locale traduisant un bilan de particules dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes. Utiliser l'operateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local de particules dans le cas d'une géométrie quelconque. -- Utiliser la loi de Fick. Citer l'ordre de grandeur d'un coefficient de diffusion dans un gaz dans les conditions usuelles.	**Cours T2** **Exercice 5 page 15** **Exercice 7 page 16** **Cours T2**

Régimes stationnaires. -------------------------------- Équation de diffusion en l'absence de sources internes. -------------------------------- Approche microscopique du phénomène de diffusion.	Utiliser, en régime stationnaire, la conservation du flux sous forme locale ou globale en l'absence de sources internes. -------------------------------- Etablir l'équation de la diffusion en l'absence de sources internes. Utiliser l'opérateur laplacien et son expression fournie pour écrire l'équation de diffusion dans le cas d'une géométrie quelconque. Analyser une équation de diffusion en ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. -------------------------------- Mettre en place un modèle probabiliste discret à une dimension de la diffusion (marche au hasard) et évaluer le coefficient de diffusion associé en fonction du libre parcours moyen et de la vitesse quadratique moyenne. Capacite numérique : a l'aide d'un langage de programmation, simuler la marche au hasard d'un grand nombre de particules a partir d'un centre et caractériser l'étalement spatial de cet ensemble de particules au cours du temps.	**Exercice 8 page 16** **Cours T2** **Cours T2**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
3.3 Diffusion thermique		
Vecteur densité de flux thermique $\mathbf{j_Q}$ -------------------------------- Premier principe de la thermodynamique.	Exprimer le flux thermique à travers une surface orientée en utilisant le vecteur $\mathbf{j_Q}$. -------------------------------- Etablir, pour un milieu solide, l'équation locale traduisant le premier principe dans le cas d'un problème ne dépendant qu'une d'une seule coordonnée d'espace en coordonnées cartésiennes, cylindriques et sphériques, éventuellement en présence de sources internes. Utiliser l'opérateur divergence et son expression fournie pour exprimer le bilan local dans le cas d'une géométrie quelconque, éventuellement en présence de sources internes.	**Cours T3** **Exercice 9 page 17**
Loi de Fourier.	Utiliser la loi de Fourier. Citer quelques ordres de grandeur de conductivité thermique dans les conditions usuelles : air, eau, béton, acier	**Cours T3**
Régimes stationnaires. Résistance thermique.	Utiliser la conservation du flux thermique sous forme locale ou globale en l'absence de source interne. Définir la notion de résistance thermique par analogie avec l'électrocinétique. Etablir l'expression d'une résistance thermique dans le cas d'un modèle unidimensionnel. Utiliser les lois d'associations de résistances thermiques.	**Exercice 13 page 19**
Équation de la diffusion thermique	Etablir une équation de diffusion thermique. Utiliser l'opérateur laplacien et son expression fournie pour écrire l'équation de diffusion dans le cas d'une géométrie quelconque. Analyser une équation de diffusion en ordres de grandeur pour relier des échelles caractéristiques spatiale et temporelle. Utiliser la loi de Newton fournie comme Condition aux limites à une interface solide/fluide. Capacite numérique : à l'aide d'un langage de programmation, résoudre l'équation de la diffusion thermique a une dimension par une méthode des différences finies dérivée	**Exercice 10 page 17** **Exercice 14 page 19** **Exercice 11 page 18**

	de la méthode d'Euler explicite de résolution des équations différentielles ordinaires. **Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant une caméra thermique ou un capteur dans le domaine des infrarouges.**	TP 17

Notions et contenus	Capacités exigibles	
3.3 Rayonnement thermique		
Approche descriptive du rayonnement du corps noir. Loi de Wien, loi de Stefan. Effet de serre. Albedo	Exploiter les expressions fournies des lois de Wien et de Stefan. Analyser quantitativement l'effet de serre en s'appuyant sur un bilan énergétique dans le cadre d'un modèle a une couche.	**Exercice 15 page 20**

4. Mécanique

Notions et contenus	Capacités exigibles	
4.1 Changements de référentiel		
Référentiel en translation rectiligne uniforme par rapport à un autre : transformation de Galilée, composition des vitesses.	Relier la transformation de Galilée et la formule de composition des vitesses a la relation de Chasles et au caractère suppose absolu du temps.	**Cours M1**
Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'un référentiel en translation par rapport à un autre : point coïncident, vitesse d'entrainement, accélération d'entrainement.	Exprimer la vitesse d'entrainement et l'accélération d'entrainement.	**Exercice 1 page 21**
Composition des vitesses et des accélérations dans le cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe : point coïncident, vitesse d'entrainement, accélération d'entrainement, acceleration de Coriolis.	Exprimer la vitesse d'entrainement et l'accélération d'entrainement. Citer et utiliser l'expression de l'accélération de Coriolis.	**Exercice 2 page 21**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
4.2 Dynamique dans un référentiel non galiléen		
Cas d'un référentiel en translation par rapport à un référentiel galiléen : force d'inertie d'entrainement	Déterminer la force d'inertie d'entraînement. Appliquer la loi de la quantité de mouvement, la loi du moment cinétique et la loi de l'énergie cinétique dans un référentiel non galiléen.	**Exercice 4 page 22**
Cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen : force d'inertie d'entraînement, force d'inertie de Coriolis.	Exprimer la force d'inertie d'entrainement et la force d'inertie de Coriolis. Associer la force d'inertie d'entrainement axifuge a l'expression familière « force centrifuge ». Appliquer la deuxième loi de Newton, le théorème du moment cinétique et le théorème de l'énergie cinétique dans un référentiel non galiléen.	**Exercice 6 page 23**
Champ de pesanteur : définition, évolution qualitative avec la latitude, ordres de grandeur	Distinguer le champ de pesanteur et le champ gravitationnel. <u>Capacite numérique</u> : à l'aide d'un langage de programmation, illustrer un effet lie au caractère non galiléen du référentiel terrestre	**Cours M2** **Exercice 10 page 24**
Equilibre d'un fluide dans un référentiel non galiléen en translation ou en rotation uniforme autour d'un axe fixe dans un référentiel galiléen.	Établir et utiliser l'expression de la force d'inertie d'entraînement volumique. .	**Cours M2**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
4.3 Mécanique des fluides		
4.3.1 Description d'un fluide en mouvement		
Champ eulérien des vitesses. Lignes de champ. Tubes de champ.	Définir et utiliser l'approche eulérienne.	**Cours M3**
Écoulement stationnaire.	Discuter du caractère stationnaire d'un écoulement en fonction du référentiel d'étude.	
Dérivée particulaire de la masse volumique. Écoulement incompressible.	Etablir l'expression de la dérivée particulaire de la masse volumique. Utiliser l'expression de la dérivée particulaire de la masse volumique pour caractériser un écoulement incompressible..	**Cours M3**
Débit massique. Débit volumique. -- Équation locale de conservation de la masse.	Définir le débit massique et l'écrire comme le flux du vecteur densité de courant de masse à travers une surface orientée. Définir le débit volumique et l'écrire comme le flux du champ de vitesse à travers une surface orientée. -- Etablir l'équation locale de conservation de la masse dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Citer et utiliser une généralisation admise en géométrie quelconque a l'aide de l'opérateur divergence et son expression fournie.	**Exercice 11 page 25** **Exercice 12 page 25**
Caractérisation d'un écoulement incompressible par la divergence du champ des vitesses.	Traduire localement, en fonction du champ de vitesses, le caractère incompressible d'un écoulement.	**Exercice 11 page 25**
Dérivée particulaire du vecteur-vitesse : terme local ; terme convectif.	Associer la dérivée particulaire de la vitesse a l'accélération de la particule de fluide qui passe en un point. Utiliser l'expression de l'accélération avec le terme convectif sous la forme **v.grad v.** Utiliser l'expression fournie de l'accélération convective en fonction de **grad** ($v^2/2$) et **rot v x v**.	**Exercice 12 page 25**
Ecoulement irrotationnel défini par la nullité du rotationnel du champ des vitesses en tout point ; potentiel des vitesses.	Traduire localement, en fonction du champ de vitesses, le caractère irrotationnel d'un écoulement et en déduire l'existence d'un potentiel des vitesses.	**Exercice 15 page 26**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
4.3.2 Actions de contact dans un fluide en mouvement		
Forces de pression. Équivalent volumique.	Exprimer la force de pression exercée par un fluide sur une surface élémentaire. Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.	**Exercice 17 page 27**
Contraintes tangentielles dans un écoulement **v**= $v_x(y)$ $\mathbf{u}_x$ au sein d'un fluide newtonien ; viscosité. -- Équivalent volumique des forces de viscosité dans un écoulement incompressible.	Utiliser l'expression fournie d**F**=$\eta\partial v_x/\partial y$ dS$\mathbf{u}_x$ -- Etablir l'expression de l'équivalent volumique des forces de viscosité dans le cas d'un écoulement de cisaillement a une dimension et utiliser sa généralisation admise pour un écoulement incompressible quelconque.	**Cours M4**
Traînée d'une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide newtonien : nombre de Reynolds ; coefficient de traînée Cx ; graphe de Cx en fonction du nombre de Reynolds.	Évaluer un nombre de Reynolds pour choisir un modèle de traînée linéaire ou un modèle de traînée quadratique.	

Notions et contenus	Capacités exigibles	
4.3.3 Équations dynamiques locales		
Équation de Navier-Stokes dans un fluide newtonien en écoulement incompressible. Terme convectif. Terme diffusif. Nombre de Reynolds dans le cas d'une unique échelle spatiale.	Utiliser l'équation de Navier-Stokes dans un fluide newtonien en écoulement incompressible. Evaluer en ordre de grandeur le rapport du terme convectif sur le terme diffusif et le relier au nombre de Reynolds dans le cas	**Exercice 20 page 28**

	d'une unique échelle spatiale.	
Notion d'écoulement parfait et de couche limite. --- Relation de Bernoulli pour un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène dans le champ de pesanteur uniforme dans un référentiel galiléen.	Exploiter l'absence de forces de viscosité et le caractère isentropique de l'évolution des particules de fluide. Utiliser la condition aux limites sur la composante normale du champ des vitesses. --- Etablir et utiliser la relation de Bernoulli pour un écoulement parfait, stationnaire, incompressible et homogène dans le champ de pesanteur uniforme dans un référentiel galiléen.	**Cours M6** **Exercice 26 page 31**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
4.3.4 Bilans macroscopiques		
Bilans de masse.	Établir un bilan de masse en raisonnant sur un système ouvert et fixe ou sur un système fermé et mobile.	
Bilans de quantité de mouvement ou d'énergie cinétique pour un écoulement stationnaire unidimensionnel à une entrée et une sortie.	Associer un système ferme a un système ouvert pour faire un bilan. Utiliser le théorème de la quantité de mouvement et le théorème de l'énergie cinétique pour réaliser un bilan. Exploiter la nullité (admise) de la puissance des forces intérieures dans un écoulement parfait et incompressible.	**Exercice 32 page 33**

4. Électromagnétisme

Notions et contenus	Capacités exigibles	
5.1 Sources du champ électromagnétique		
5.1.1 Description microscopique et mésoscopique des sources		
Densité volumique de charges. Charge traversant un élément de surface fixe et vecteur densité de courant. Intensité du courant.	Exprimer la densité volumique de charge et le vecteur densité de courant en fonction de la vitesse moyenne des porteurs de charge, de leur charge et de leur densité volumique. Relier l'intensité du courant et le flux du vecteur densité de courant	
5.2.1 Conservation de la charge		
Équation locale de conservation de la charge.	Etablir l'équation traduisant la conservation de la charge dans le seul cas d'un problème unidimensionnel en géométrie cartésienne. Citer et utiliser une généralisation admise en géométrie quelconque utilisant l'operateur divergence, son expression étant fournie. Exploiter le caractère conservatif du vecteur densité de courant en régime stationnaire ; relier cette propriété a la loi des nœuds de l'électrocinétique.	**Exercice 3 page 34**
5.2.3 Conduction électrique dans un conducteur ohmique		
Loi d'Ohm locale. Conductivité électrique. --- Effet Hall. --- Effet thermique du courant électrique : loi de Joule locale.	Etablir l'expression de la conductivité électrique a l'aide d'un modèle microscopique, l'action de l'agitation thermique et des défauts du réseau étant décrite par une force de frottement fluide linéaire. Discuter de l'influence de la fréquence sur la conductivité électrique. Etablir l'expression de la résistance d'une portion de conducteur filiforme. --- Interpréter qualitativement l'effet Hall dans une géométrie parallélépipédique. --- Exprimer la puissance volumique dissipée par effet Joule dans un conducteur ohmique.	**Exercice 10 page 39** **Cours E4** **Exercice 11 page 39**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
5.2 Électrostatique		
5.2.1 Champ électrostatique		
Loi de Coulomb. Champ et potentiel électrostatiques crées par une charge ponctuelle. Principe de superposition.	Exprimer le champ électrostatique et le potentiel crées par une distribution discrète de charges. Citer quelques ordres de grandeur de champs électrostatiques.	**Exercice 4 page 35**
Propriétés du champ électrostatique Symétries. --- Circulation du champ électrostatique. Potentiel électrostatique. Equations locales. --- Théorème de Gauss et équation locale de Maxwell-Gauss. --- Lignes de champ électrostatique. Equipotentielles.	 Exploiter les propriétés de symétrie des sources (translation, rotation, symétrie plane, conjugaison de charges) pour prévoir des propriétés du champ crée. --- Relier l'existence d'un potentiel électrostatique a la nullité du rotationnel du vecteur champ électrostatique. Justifier l'orthogonalité des lignes de champ avec les surfaces équipotentielles et leur orientation dans le sens des potentiels décroissants. --- Choisir une surface adaptée et utiliser le théorème de Gauss. --- Justifier qu'une carte de lignes de champ puisse ou non être celle d'un champ électrostatique. Repérer, sur une carte de champ électrostatique, d'éventuelles sources du champ et leur signe. Associer l'évolution de la norme du champ électrostatique a l'évasement des tubes de champ loin des sources. Relier équipotentielles et lignes de champ électrostatique. Evaluer la norme du champ électrostatique à partir d'un réseau de lignes équipotentielles.	 **Cours E2** **Exercice 5 page 35** **Exercice 6 page 36** **Exercice 4 page 35**
5.2.2 Exemples de champs électrostatiques		
Dipôle électrostatique. Moment dipolaire --- Potentiel et champ créés par un dipôle. --- Actions subies par un dipôle placé dans un champ électrostatique d'origine extérieure : résultante et moment. --- Énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure. --- Interactions ion-molécule et molécule-molécule. --- Dipôle induit. Polarisabilité.	Citer les conditions de l'approximation dipolaire. --- Établir l'expression du potentiel V. Comparer la décroissance avec la distance du champ et du potentiel dans le cas d'une charge ponctuelle et dans le cas d'un dipôle. Tracer l'allure des lignes de champ électrostatique engendrées par un dipôle. --- Utiliser les expressions fournies de la résultante et du moment des actions subies par un dipôle place dans un champ électrostatique d'origine extérieure. --- Utiliser l'expression fournie de l'énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure. Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle rigide dans un champ électrostatique d'origine extérieure. --- Expliquer qualitativement la solvatation des ions dans un solvant polaire. --- Associer la polarisabilité et le volume de l'atome en ordre de grandeur.	 **Cours E3** **Exercice 8 page 37**
Plan infini uniformément chargé en surface. --- Condensateur plan. Capacite. Densité volumique d'énergie électrostatique.	Établir l'expression du champ créé par un plan infini uniformément charge en surface. --- Etablir l'expression du champ crée par un condensateur plan. Déterminer l'expression de la capacite d'un condensateur plan. Citer l'ordre de grandeur du champ disruptif dans l'air. Déterminer l'expression de la densité	 **Exercice 7 page 37**

	volumique d'énergie électrostatique dans le cas du condensateur plan à partir de celle de l'énergie du condensateur.	
Energie de constitution d'un noyau atomique modélisé par une boule uniformément chargée.	Exprimer l'énergie de constitution d'un noyau en construisant le noyau par adjonction progressive de charges apportées de l'infini.	**Cours E3**
5.2.3 Analogies avec le champ gravitationnel		
Analogies entre champ électrostatique et champ gravitationnel.	Utiliser les analogies entre les forces électrostatique et gravitationnelle pour déterminer l'expression de champs gravitationnels.	**Exercice 9 page 38**

Notions et contenus	Capacités exigibles	
5.3 Magnétostatique		
5.3.1 Champ magnétostatique		
Équations locales de la magnétostatique et formes intégrales : flux conservatif et théorème d'Ampère.	Choisir un contour, une surface et les orienter pour appliquer le théorème d'Ampère.	**Exercice 18 page 43**
Linéarité des équations.	Utiliser une méthode de superposition.	
Propriétés de symétrie.	Exploiter les propriétés de symétrie des sources (rotation, symétrie plane) pour prévoir des propriétés du champ crée.	**Exercice 16 page 42**
Propriétés topographiques.	Justifier qu'une carte de lignes de champ puisse ou non être celle d'un champ magnétostatique. Repérer, sur une carte de champ magnétostatique, d'éventuelles sources du champ et leur sens. Associer l'évolution de la norme d'un champ magnétique a l'évasement des tubes de champ.	
5.3.2Exemples de champs magnétostatiques		
Modèle du câble rectiligne infini.	Déterminer le champ créé par un câble rectiligne infini.	**Exercice 15 page 41**
Solénoïde long sans effets de bords.	Etablir et citer l'expression du champ a l'intérieur d'un solénoïde long, la nullité du champ extérieur étant admise.	**Exercice 13 page 41**
Inductance propre. Densité volumique d'énergie magnétique.	Etablir les expressions de l'inductance propre et de l'énergie d'une bobine modélisée par un solénoïde long. Associer l'énergie d'une bobine a une densité volumique d'énergie magnétique.	**Cours E6**
5.3.3 Dipôles magnétostatiques		
Moment magnétique d'une boucle de courant plane.	Utiliser un modèle planétaire pour relier le moment magnétique d'un atome d'hydrogène à son moment cinétique.	**Cours E7**
Rapport gyromagnétique de l'électron. Magnéton de Bohr.	Construire en ordre de grandeur le magnéton de Bohr par analyse dimensionnelle. Evaluer l'ordre de grandeur maximal du moment magnétique volumique d'un aimant permanent.	
Actions subies par un dipôle magnétique placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure : résultante et moment.	Utiliser les expressions fournies de la résultante et du moment des actions subies par un dipôle magnétique place dans un champ magnétostatique d'origine extérieure. Décrire l'expérience de Stern et Gerlach et expliquer ses enjeux.	**Exercice 19 page 43**
Énergie potentielle d'un dipôle magnétique rigide placé dans un champ magnétostatique d'origine extérieure.	Utiliser l'expression fournie de l'énergie potentielle d'un dipôle rigide dans un champ magnétostatique d'origine extérieure. Prévoir qualitativement l'évolution d'un dipôle rigide dans un champ magnétostatique d'origine extérieure.	

Notions et contenus	Capacités exigibles	
5.4 Équations de Maxwell		
5.4.1 Postulats de l'électromagnétisme		
Force de Lorentz. Equations locales de Maxwell. Formes intégrales. .	Utiliser les équations de Maxwell sous forme locale ou intégrale. Relier l'équation de Maxwell-Faraday et la loi de Faraday. Etablir l'équation locale de la conservation de la charge à partir des équations de Maxwell. Utiliser une méthode de superposition. **Mettre en œuvre un dispositif expérimental utilisant des capteurs inductifs..**	**Exercice 22 page 44**
5.4.2 Aspects énergétiques		
Vecteur de Poynting. Densité volumique d'énergie électromagnétique. Équation locale de Poynting.	Utiliser les grandeurs énergétiques pour faire des bilans d'énergie électromagnétique. Associer le vecteur de Poynting et l'intensité lumineuse utilisée en optique.	**Exercice 23 page 45**
5.4.3 Approximation des régimes quasi-stationnaires « magnétique »		
Equations de propagation des champs électrique et magnétique dans le vide. --- ARQS magnétique	Etablir les équations de propagation des champs électrique et magnétique dans le vide. Expliquer le caractère non instantané des interactions électromagnétiques. --- Discuter l'approximation des régimes quasi-stationnaires. Simplifier et utiliser les équations de Maxwell et l'équation de conservation de la charge dans l'approximation du régime quasi-stationnaire. Etendre le domaine de validité des expressions des champs magnétiques obtenues en régime stationnaire.	

5. Physique des ondes

Notions et contenus	Capacités exigibles	
6.1 Phénomènes de propagation non dispersifs : équation de d'Alembert		
6.1.1 Ondes mécaniques unidimensionnelles dans les solides déformables		
Ondes transversales sur une corde vibrante.	Etablir l'équation d'onde décrivant les ondes transversales sur une corde vibrante infiniment souple dans l'approximation des petits mouvements transverses.	**Exercice 1 page 46**
Domaine d'élasticité d'un solide : module d'Young, loi de Hooke. --- Ondes mécaniques longitudinales dans une tige solide dans l'approximation des milieux continus.	Exploiter le modelé de la chaine d'atomes élastiquement lies pour relier le module d'Young d'un solide élastique a ses caractéristiques microscopiques. --- Etablir l'équation d'onde décrivant les ondes mécaniques longitudinales dans une tige solide.	**Exercice 2 page 46**
Équation de d'Alembert ; célérité. --- Ondes progressives, ondes progressives harmoniques ; ondes stationnaires. --- Modes propres d'une corde vibrante fixée a ses deux extremités. Résonances d'une corde de Melde.	Identifier l'équation de d'Alembert. Relier qualitativement la célérité d'ondes mécaniques, la raideur et l'inertie du milieu support. --- Différencier une onde stationnaire d'une onde progressive. Utiliser qualitativement l'analyse de Fourier pour décrire une onde non harmonique. --- Décrire les modes propres d'une corde vibrante fixée à ses deux extrémités. Interpréter quantitativement les résonances observées avec la corde de Melde en négligeant l'amortissement.	**Exercice 6 page 47**

6.1.2 Ondes acoustiques dans les fluides		
Approximation acoustique. Equation de d'Alembert pour la surpression acoustique. -- Célérité des ondes acoustiques.	Classer les ondes acoustiques par domaines fréquentiels. Valider l'approximation acoustique. Etablir, par une approche eulérienne, l'équation de propagation de la surpression acoustique dans une situation unidimensionnelle en coordonnées cartésiennes. Utiliser l'opérateur laplacien pour généraliser l'équation d'onde. -- Exprimer la célérité des ondes acoustiques en fonction de la température pour un gaz parfait.	**Cours Onde2**
Ondes planes progressives harmoniques : caractère longitudinal, impédance acoustique.	Exploiter la notion d'impédance acoustique pour faire le lien entre les champs de surpression et de vitesse d'une onde plane progressive harmonique. Utiliser le principe de superposition des ondes planes progressives harmoniques.	**Exercice 7 page 48**
Densité volumique d'énergie acoustique, vecteur densité de courant énergétique. Intensité sonore. Niveau d'intensité sonore.	Utiliser les expressions admises du vecteur densité de courant énergétique et de la densité volumique d'énergie associes à la propagation de l'onde. Citer quelques ordres de grandeur de niveaux d'intensité sonore.	**Exercice 9 page 48**
Ondes acoustiques sphériques harmoniques.	Utiliser une expression fournie de la surpression pour interpréter par un argument énergétique la décroissance en 1/r de l'amplitude.	**Exercice 11 page 49**
6.1.3 Ondes électromagnétiques dans le vide		
Equations de propagation d'un champ électromagnétique dans une région sans charge ni courant. -- Structure d'une onde plane progressive harmonique. -- Aspects énergétiques. -- Polarisation des ondes électromagnétiques planes progressives harmoniques : polarisation elliptique, circulaire et rectiligne. Loi de Malus.	Etablir et citer les équations de propagation d'un champ électromagnétique dans le vide. -- Etablir et exploiter la structure d'une onde électromagnétique plane progressive harmonique. Utiliser la superposition d'ondes planes progressives harmoniques pour justifier les propriétés d'ondes électromagnétiques planes progressives non harmoniques.. -- Relier la direction du vecteur de Poynting et la direction de propagation de l'onde électromagnétique. Interpréter le flux du vecteur de Poynting en termes particulaires. Citer quelques ordres de grandeur de flux énergétiques surfaciques moyens et les relier aux ordres de grandeur des champs électriques associes. -- Relier l'expression du champ électrique à l'état de polarisation d'une onde. **Utiliser la loi de Malus.** **Reconnaître une lumière polarisée Rectilignement.** **Distinguer une lumière non polarisée D'une lumière totalement polarisée.** **Utiliser une lame quart d'onde ou demi-onde pour modifier ou analyser un état de polarisation, avec de la lumière totalement polarisée.**	 **Exercice 12 page 50** **Exercice 14 page 50** **Exercice 19 page 52**

6.2 Phénomènes de propagation linéaires unidimensionnels		
6.2.1 Dispersion et absorption		
Propagation unidimensionnelle d'une onde harmonique dans un milieu linéaire. -- Dispersion, absorption.	Identifier le caractère linéaire d'une équation aux dérivées partielles. Etablir la relation de dispersion caractéristique d'un phénomène de propagation en utilisant des ondes de la forme expj(kx-ωt). Distinguer différents types de comportements selon la valeur de la pulsation. -- Associer les parties réelle et imaginaire de k aux phénomènes de dispersion et d'absorption.	**Exercice 20 page 53**
Propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu non absorbant et faiblement dispersif : vitesse de phase et vitesse de groupe.	Enoncer 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. Déterminer la vitesse de groupe d'un paquet d'ondes à partir de la relation de dispersion. Associer la vitesse de groupe à la propagation de l'enveloppe du paquet d'ondes. **Étudier la propagation d'une onde électrique dans un câble coaxial.** Capacite numérique : à l'aide d'un langage de programmation, simuler la propagation d'un paquet d'ondes dans un milieu dispersif et visualiser le phénomène	**Exercice 22 page 54** **TP 13**
6.2.2 Ondes électromagnétiques dans les milieux matériels		
Propagation d'une onde électromagnétique plane harmonique unidirectionnelle dans un conducteur ohmique de conductivité réelle. Effet de peau dans un conducteur ohmique.	Identifier une analogie avec un phénomène de diffusion. Etablir la relation de dispersion des ondes électromagnétiques dans un conducteur ohmique a basses fréquences. Associer l'atténuation de l'onde dans le milieu conducteur a une dissipation d'énergie. Estimer l'ordre de grandeur de l'épaisseur de peau du cuivre a différentes fréquences.	**Cours Onde5**
Propagation d'une onde électromagnétique plane harmonique transverse et unidirectionnelle dans un plasma dilue. Conductivité électrique complexe. -- Relation de dispersion. Pulsation plasma. Domaine de transparence. Domaine réactif, onde évanescente.	Justifier la neutralité électrique locale du plasma en présence d'une onde transverse. Etablir l'expression de la conductivité électrique complexe du plasma. Interpréter énergétiquement le caractère imaginaire pur de la conductivité électrique complexe du plasma. -- Etablir la relation de dispersion des ondes planes progressives harmoniques transverses. Exprimer la vitesse de phase et la vitesse de groupe d'un paquet d'ondes dans le domaine de transparence du plasma. Interpréter la pulsation plasma comme une pulsation de coupure. Citer les caractéristiques d'une onde stationnaire évanescente. Justifier que, dans le domaine réactif, une onde électromagnétique harmonique ne transporte aucune puissance en moyenne.	**Cours Onde5**

6.3 Interfaces entre deux milieux		
Réflexion, transmission d'une onde acoustique plane progressive sous incidence normale sur une interface plane infinie entre deux fluides : coefficients de réflexion et de transmission en amplitude des vitesses, des surpressions et des puissances acoustiques surfaciques moyennes.	Expliciter des conditions aux limites à une interface. Établir les expressions des coefficients de transmission et de réflexion. Associer l'adaptation des impédances au transfert maximum de puissance.	**Exercice 28 page 57**
Réflexion et transmission d'une onde électromagnétique plane progressive harmonique polarisée rectilignement a l'interface entre deux milieux d'indices complexes n1 et n2 dans le cas d'une incidence normale : coefficients de réflexion et de transmission du champ électrique.	Exploiter la continuité admise du champ électromagnétique dans cette configuration pour obtenir l'expression des coefficients de réflexion et de transmission en fonction des indices complexes. Utiliser les expressions des coefficients de réflexion et de transmission du champ électrique dans des situations variées. Etablir et interpréter les expressions des coefficients de réflexion et de transmission en puissance dans le cas d'une interface	**Exercice 30 page 58**

6.4 Introduction à la physique du laser		
6.4.1 Milieu amplificateur de lumière		
Absorption, émission stimulée, émission spontanée.	Distinguer les propriétés d'un photon émis par émission spontanée ou stimulée.	
Coefficients d'Einstein.	Associer l'émission spontanée a la durée de vie d'un niveau excite. Utiliser les coefficients d'Einstein dans le cas d'un système a plusieurs niveaux non dégénérés.	**Exercice 33 page 60**
Amplification d'ondes lumineuses par émission stimulée.	Justifier qualitativement la nécessité d'une inversion de population pour parvenir a amplifier une onde électromagnétique dans un laser.	
6.4.2 Propriétés optiques d'un faisceau spatialement limité		
Description simplifiée d'un faisceau de profil gaussien : waist, longueur de Rayleigh, ouverture angulaire.	Justifier qualitativement l'inadéquation du modèle de l'onde plane pour décrire un faisceau laser. Utiliser l'expression fournie du profil radial d'intensité. Construire l'allure d'un faisceau de profil gaussien à partir de l'enveloppe d'un faisceau cylindrique et d'un faisceau conique. Exploiter qualitativement le phénomène de diffraction pour relier le waist et l'ouverture angulaire du faisceau à grande distance.	**Exercice 31 page 59**
Transformation a l'aide d'une lentille d'un faisceau cylindrique en faisceau conique et réciproquement. Elargisseur de faisceau.	Déterminer la dimension et la position de la section minimale du faisceau émergeant d'une lentille éclairée par un faisceau cylindrique.	**Exercice 32 page 59**

6.5 Approche ondulatoire de la mécanique quantique		
6.5.1 Amplitude de probabilité		
Fonction d'onde $\psi(x,t)$ associée a une particule dans un problème unidimensionnel. Densité linéique de probabilité de présence.	Normaliser une fonction d'onde. Relier qualitativement la fonction d'onde a la notion d'orbitale en chimie.	**Exercice 35 page 61**
Principe de superposition. Interférences.	Relier la superposition de fonctions d'ondes a la description d'une expérience d'interférences entre particules.	
6.5.2 Équation de Schrödinger pour une particule libre		
Équation de Schrödinger.	Utiliser l'équation de Schrödinger fournie.	**Cours Onde8**
États stationnaires.	Associer les états stationnaires aux états d'énergie déterminée. Etablir et utiliser la forme $\psi(x,t) = \phi(x) \exp(-iEt/\hbar)$ pour la fonction d'onde d'un état stationnaire et l'associer à la relation de Planck-Einstein.	

Paquet d'ondes associe a une particule libre. Relation $\Delta kx\ \Delta x \geq 1/2$. --- Courant de probabilité associé à une particule libre	Distinguer l'onde associée a un état stationnaire en mécanique quantique d'une onde stationnaire au sens usuel de la physique des ondes. Utiliser l'équation de Schrodinger pour déterminer la partie spatiale $\phi(x)$ des fonctions d'onde stationnaires décrivant une particule libre. Identifier la vitesse d'une particule libre et la vitesse du paquet d'ondes la décrivant. Exploiter l'inégalité de Heisenberg pour relier l'étendue spatiale et l'étendue spectrale du paquet d'ondes décrivant une particule libre. -- Utiliser l'expression admise du courant de probabilité associe à une particule libre et l'interpréter comme un produit densité*vitesse.	**Exercice 36 page 61**
6.5.3 Équation de Schrödinger dans un potentiel V(x) uniforme par morceaux		
Quantification de l'énergie dans un puits de potentiel rectangulaire de profondeur infinie. -- Énergie de confinement quantique.	Établir les expressions des énergies des états stationnaires. Retrouver qualitativement l'énergie minimale à partir de l'inégalité de Heisenberg. -- Associer le confinement d'une particule quantique à une augmentation de l'énergie cinétique.	**Exercice 37 page 62**
Evolution temporelle d'une particule confinée dans une superposition d'états.	Mettre en évidence les oscillations d'une particule dont la fonction d'onde s'écrit comme la superposition de deux états stationnaires et relier la fréquence d'oscillation a la différence des énergies.	**Exercice 38 page 62**
Quantification de l'énergie des états liés dans un puits de profondeur finie. Élargissement effectif du puits par les ondes évanescentes.	Décrire la forme des fonctions d'onde dans les différents domaines. Utiliser les conditions aux limites admises : continuité de ϕ et $d\phi/dx$. Associer la quantification de l'énergie au caractère lie de la particule. Mener une discussion graphique. Interpréter qualitativement, à partir de l'inégalité de Heisenberg spatiale, l'abaissement des niveaux d'énergie par rapport au puits de profondeur infinie.	
6.5.4 Effet tunnel		
Effet tunnel. Coefficient de transmission associé à une particule libre incidente sur une barrière de potentiel.	Citer quelques applications de l'effet tunnel. Définir le coefficient de transmission comme un rapport de courants de probabilités. Utiliser une expression fournie du coefficient de transmission à travers une barrière de potentiel.	**Exercice 40 page 63**

SANS OUBLIER :

• Connaître parfaitement et savoir utiliser les coordonnées sphériques et cylindriques.

• Connaître parfaitement et savoir utiliser les opérateurs de l'analyse vectorielle en coordonnées cartésiennes :

- $\overrightarrow{\text{grad}}U = \vec{\nabla}U = \frac{\partial U}{\partial x}\vec{u}_x + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{u}_y + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{u}_z$
- $\text{div}\vec{A} = \vec{\nabla}.\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$
- $\overrightarrow{\text{rot}}\vec{A} = \vec{\nabla} \wedge \vec{A}$
- $\Delta U = \vec{\nabla}^2 U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$
- $\Delta\vec{A} = \Delta A_x \vec{u}_x + \Delta A_y \vec{u}_y + \Delta A_z \vec{u}_z$
- $(\vec{A}.\overrightarrow{\text{grad}}) = (\vec{A}.\vec{\nabla}) = A_x\frac{\partial}{\partial x} + A_y\frac{\partial}{\partial y} + A_z\frac{\partial}{\partial z}$

• Connaître parfaitement les équations différentielles classiques dont on peut donner directement la solution :

- $\frac{d^2f}{dx^2} + k^2 f = 0$ de solution : $f(x) = \alpha\cos(kx) + \beta\sin(kx)$ ou $f(x) = A\cos(kx+\varphi)$
- $\frac{d^2f}{dx^2} - k^2 f = 0$ de solution : $f(x) = \alpha\,\text{ch}(kx) + \beta\,\text{sh}(kx)$ ou $f(x) = A\exp(kx) + B\exp(-kx)$
- $\frac{df}{dx} + \frac{f}{\delta} = 0$ de solution : $f(x) = A\exp(-x/\delta)$
- $\frac{df}{dx} - \frac{f}{\delta} = 0$ de solution : $f(x) = A\exp(x/\delta)$
- $\frac{d^2f}{dx^2} + 2\lambda\frac{df}{dx} + k^2 f = 0$ de solution $f(x) = \exp(-\lambda x)[A\exp(-\sqrt{\lambda^2 - k^2}\,x) + B\exp(\sqrt{\lambda^2 - k^2}\,x)]$ si $\lambda > k$

  $f(x) = \exp(-\lambda x)[A\cos(\sqrt{k^2 - \lambda^2}\,x) + B\sin(\sqrt{k^2 - \lambda^2}\,x)]$ si $k > \lambda$

  $f(x) = \exp(-\lambda x)[A + Bx]$ si $\lambda = k$

Attention : La variable n'est pas toujours x, mais souvent t. Dans ce cas on utilise plutôt la notation ω à la place de k et la notation τ à la place de δ.

Attention : S'il y a un second membre constant, on rajoute une solution particulière constante.
S'il y a un second membre sinusoïdal, on rajoute une solution particulière sinusoïdale que l'on recherche, en général, en notation complexe

---

• Connaitre le principe de l'analyse de Fourier : décomposition d'un signal en une somme, discrète ou continue, de fonctions sinusoïdales

Un signal s(t) prenant des valeurs notables sur un intervalle de largeur Δt a un spectre de Fourier qui prend des valeurs notables sur un intervalle de largeur en fréquence Δf.

On a la relation de Fourier : $\boxed{\Delta f.\Delta t \approx 1}$
