

Ondes électromagnétiques et interférences

Au programme des questions de cours

- ▷ Déterminer le temps de cohérence τ_c d'une raie de longueur d'onde λ et largeur $\Delta\lambda$.
- ▷ Rappeler sous quelles conditions deux ondes sont cohérentes. Établir la formule de Fresnel.
 - | *Il n'est pas demandé d'établir les conditions de cohérence, mais seulement de les énoncer. La formule de Fresnel est donc plus simple à démontrer en complexes.*
- ▷ Établir l'expression de la différence de marche dans le cas de trous d'Young éclairés par une source ponctuelle monochromatique placée sur l'axe des trous, ou bien dans le cas d'une observation à grande distance, ou bien dans le cas d'une observation dans le plan focal image d'une lentille convergente (au choix de l'interrogateur).
- ▷ Dans le cas de trous d'Young éclairés par une source étendue centrée sur l'axe optique, établir l'expression de la largeur de cohérence spatiale de la source. L'expression de la différence de marche sera rappelée sans démonstration par l'étudiant.
 - | *Conventionnellement, la largeur de cohérence spatiale de la source est celle pour laquelle le critère de brouillage est atteint : $\Delta p = p_{\text{extrémité}} - p_{\text{centre}} = 1/2$.*
- ▷ Établir la formule des réseaux. La différence de marche doit être redémontrée.
 - | *Au sens du programme, la « formule des réseaux » donne la position des maxima d'intensité : $\sin \theta_p - \sin \theta_0 = p\lambda/a$. Le calcul de l'intensité dans une direction quelconque par sommation d'une suite géométrique a été fait en classe (et peut être refait en exercice), mais n'est pas l'objet de cette question de cours.*
- ▷ Construire l'image d'un objet proposé par l'interrogateur au travers d'une lentille convergente. On s'attachera essentiellement aux cas « moins simples » : images virtuelles, à l'infini, etc.
- ▷ Définir le phénomène de réflexion totale à une interface entre deux milieux et établir à quelles conditions il apparaît.
 - | *D'après la loi de réfraction,*

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \text{soit} \quad \sin \theta_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1$$
Si $n_1 < n_2$ l'angle de réfraction θ_2 existe toujours, mais si $n_1 > n_2$ il n'existe que si

$$\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1 < 1 \quad \text{donc} \quad \theta_1 < \arcsin \frac{n_2}{n_1} = \theta_{\text{lim}}.$$
Il y a donc deux conditions, sur les indices ($n_1 > n_2$) et sur l'angle d'incidence ($\theta_1 > \theta_{\text{lim}}$).

Au programme des exercices

Chapitre 18 : Ondes électromagnétiques

Extrait du programme officiel : partie 4 « Électromagnétisme », bloc 5 « Propagation ».

Le bloc 5, articulé autour de la propagation des ondes électromagnétiques, est l'occasion d'illustrer l'efficacité du formalisme local des équations de Maxwell en insistant sur les aspects qualitatifs et sur la variété des applications qui en découlent. Si le modèle de l'onde plane est présenté dans le cadre de l'espace vide de courant et de charge, l'étude des ondes électromagnétiques dans un milieu ohmique permet d'enrichir les compétences des étudiants sur les phénomènes de propagation en abordant l'effet de peau. La réflexion d'une onde électromagnétique sur un métal parfait et son confinement dans une cavité permettent aux étudiants d'approfondir leurs connaissances sur les ondes stationnaires et de découvrir des savoir-faire spécifiques permettant leur étude efficace. La notion de densité de courant surfacique est introduite, mais le calcul de l'intensité à travers un segment ne relève pas du programme.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Équations de propagation des champs dans une région vide de charges et de courants.	Établir les équations de propagation à partir des équations de Maxwell.
Onde plane dans l'espace vide de charge et de courant. Onde plane progressive et aspects énergétiques.	Citer les solutions de l'équation de d'Alembert à une dimension. Décrire la structure d'une onde plane et d'une onde plane progressive dans l'espace vide de charge et de courant.
Onde plane progressive monochromatique.	Expliquer le caractère idéal du modèle de l'onde plane monochromatique. Citer les domaines du spectre des ondes électromagnétiques et leur associer des applications.
Exemple d'états de polarisation d'une onde plane progressive et monochromatique : polarisation rectiligne. Polariseurs.	Reconnaître une onde plane polarisée rectilignement. Mettre en évidence une polarisation rectiligne.
Propagation d'une onde électromagnétique dans un milieu ohmique en régime lentement variable. Effet de peau.	Établir et interpréter l'expression de la grandeur caractéristique d'atténuation de l'onde électromagnétique dans un milieu ohmique.
Réflexion sous incidence normale d'une onde plane, progressive et monochromatique polarisée rectilignement sur un plan conducteur parfait. Onde stationnaire.	Exploiter la nullité des champs dans un métal parfait. Établir l'expression de l'onde réfléchie en exploitant les relations de passage fournies. Interpréter qualitativement la présence de courants localisés en surface. Reconnaître et caractériser une onde stationnaire.
Applications aux cavités à une dimension. Mode d'onde stationnaire.	Utiliser la méthode de séparation des variables. Mettre en œuvre un dispositif permettant d'étudier une onde électromagnétique, dans le domaine des ondes centimétriques.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

Chapitre 19 : Modélisation des ondes lumineuses

Extrait du programme officiel : partie 3 « Optique », bloc 1 « Modèle scalaire des ondes lumineuses ».

Le programme utilise le mot « intensité » pour décrire la grandeur détectée mais on peut utiliser indifféremment les mots « intensité » ou « éclairement » sans chercher à les distinguer à ce niveau. L'intensité lumineuse est introduite comme une puissance par unité de surface. Le théorème de Malus (orthogonalité des rayons de lumière et des surfaces d'ondes) est admis.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Chemin optique. Déphasage dû à la propagation. Surfaces d'ondes. Théorème de Malus (admis).	Exprimer le retard de phase en un point en fonction de la durée de propagation ou du chemin optique.
Onde plane, onde sphérique. Effet d'une lentille mince dans l'approximation de Gauss.	Associer une description de la formation des images en termes de rayon de lumière et de surfaces d'onde. Utiliser la propriété énonçant que le chemin optique séparant deux points conjugués est indépendant du rayon de lumière choisi.
Modèle d'émission. Relation entre la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale.	Citer l'ordre de grandeur du temps de cohérence Δt de quelques sources de lumière. Utiliser la relation (admise) $\Delta f \Delta t \simeq 1$ pour lier la durée des trains d'ondes et la largeur spectrale $\Delta \lambda$ de la source.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Détecteurs. Intensité lumineuse.	Exploiter la propriété qu'un capteur optique quadratique fournit un signal proportionnel à l'énergie lumineuse reçue pendant son temps d'intégration. Citer l'ordre de grandeur du temps d'intégration de quelques capteurs optiques. Mettre en œuvre une expérience utilisant un capteur CCD.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

Extrait du programme officiel : partie 3 « Optique », bloc 2 « Superposition d'ondes lumineuses ».

Notions et contenus	Capacités exigibles
Superposition d'ondes incohérentes entre elles.	Exploiter l'additivité des intensités.
Superposition de deux ondes quasi monochromatiques cohérentes entre elles.	Vérifier que les principales conditions pour que le phénomène d'interférences apparaisse (égalité des pulsations et déphasage constant dans le temps) sont réunies.
Formule de Fresnel $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$.	Établir et exploiter la formule de Fresnel.
Facteur de contraste.	Associer un bon contraste à des intensités I_1 et I_2 voisines.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

Chapitre 20 : Interférences par division du front d'onde

Aucun exercice sur les réseaux cette semaine, on se limitera aux dispositifs d'Young.

Le jury de la banque PT a indiqué à la réunion bilan d'octobre dernier que le concours se limitait aux dispositifs du programme, c'est-à-dire les dispositifs d'Young : pas de miroir de Lloyd, miroirs de Fresnel, etc. Les éventuels exercices sur ces systèmes seront traités par analogie explicite avec les trous d'Young.

Enfin, les calculs d'éclairement par intégrale sur une source étendue ou un spectre continu me semblent à la limite des objectifs du programme (voire de l'autre côté de cette limite) : ces calculs doivent être réservés aux bons étudiants et la démarche guidée. Le programme se limite à une approche semi-quantitative.

Extrait du programme officiel : partie 3 « Optique », bloc 3 « Exemple de dispositif interférentiel par division du front d'onde : trous d'Young ».

Dans le bloc 3, les trous d'Young permettent de confronter théorie et expérience. Les fentes d'Young sont abordées de manière exclusivement expérimentale. Aucune connaissance sur un autre diviseur du front d'onde n'est exigible.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Trous d'Young ponctuels dans un milieu non dispersif : source à distance finie et observation à grande distance finie. Ordre d'interférences p .	Décrire et mettre en œuvre une expérience simple d'interférences : trous d'Young ou fentes d'Young. Montrer la non localisation des franges d'interférences. Exprimer et utiliser l'ordre d'interférences.
Variations de l'ordre d'interférences p avec la position du point d'observation. Franges d'interférences. Interfrange.	Interpréter la forme des franges observées
Comparaison entre deux dispositifs expérimentaux : trous d'Young et fentes d'Young.	Comparer les deux dispositifs en mettant en évidence analogies et différences.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variations de l'ordre d'interférences p avec la position ou la longueur d'onde de la source. Perte de contraste par élargissement spatial ou spectral de la source.	Utiliser le critère de brouillage des franges $\Delta p > 1/2$ pour interpréter des observations expérimentales.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

Extrait du programme officiel : partie 3 « Optique », bloc 2 « Superposition d'ondes lumineuses ».

Notions et contenus	Capacités exigibles
Superposition de N ondes monochromatiques cohérentes entre elles, de même amplitude et dont les phases sont en progression arithmétique. Réseau par transmission.	Établir l'expression de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Établir la relation fondamentale des réseaux liant la condition d'interférences constructives à la valeur de la différence de marche entre deux motifs consécutifs. Modéliser expérimentalement un spectroscopie à l'aide d'un réseau optique. Lier qualitativement le nombre de traits d'un réseau à la largeur des franges brillantes.

En **gras**, les points devant faire l'objet d'une approche expérimentale.

Révisions : Ondes et optique géométrique

Tout le programme de PTSI. Les relations de conjugaison et de grandissement doivent normalement toujours être rappelées par un énoncé, cependant je recommande aux étudiants de connaître les relations avec origine au centre optique (de Descartes), tout particulièrement pour l'oral :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{OA'}{OA}.$$

Au programme du DS du samedi 23 mars

- ▷ Électromagnétisme : chapitres 17 et 18 ;
- ▷ Optique : chapitres 19 et 20 ;
- ▷ Révisions de PTSI : des questions pourront faire appel à l'induction et optique géométrique.

Et après ?

- ▷ Chapitre 21 : Interférences par division d'amplitude ;
- ▷ Chapitre 22 : Cinétique électrochimique ;
- ▷ Révisions sur l'oxydoréduction et les diagrammes potentiel-pH.

Bon courage à tous,
Étienne Thibierge.