

## Programme de colle

Semaine 18 (du 02/02 au 06/02)

Les colles se déroulent en trois parties : une (au moins, il peut y en avoir plusieurs) question de cours tirée de la liste ci-dessous, puis un exercice imposé parmi ceux listés et enfin, si le temps le permet, un exercice au choix du collé.

### Partie 1 – Questions de cours

#### Modèle scalaire des ondes lumineuses, notion d'interférences

- Présenter le modèle scalaire : vibration lumineuse, intensité lumineuse
- Notion de capteurs lumineux : les présenter, donner des ordres de grandeur de temps de réponse
- Modèles d'émission des ondes lumineuses :
  - Donner la relation entre le temps de cohérence et la largeur spectrale fréquentielle
  - Établir la relation entre la longueur de cohérence et les propriétés du spectre
- Définir le chemin optique, exprimer le retard de phase dû à la propagation
- Définir une surface d'onde, énoncer le théorème de Malus et la propriété sur le chemin optique entre deux points conjugués
- Donner les conditions d'interférences, établir la formule de Fresnel, exprimer le contraste

#### Interférométrie par division du front d'onde : fentes d'Young

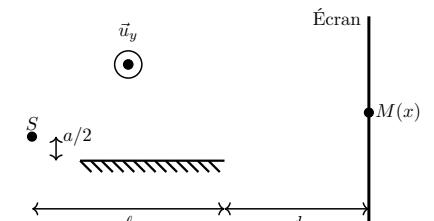
- Définir et identifier le champ d'interférences, ainsi que la localisation des interférences
- Établir la différence de marche, le déphasage et l'ordre d'interférence
- Décrire la figure d'interférence : forme, paramètres (interfrange à exprimer)
- Perte de contraste par élargissement spatial de la source : établir le critère portant sur l'ordre d'interférence permettant de conserver une bonne cohérence spatiale
- Perte de contraste par élargissement spectral de la source : établir le critère portant sur l'ordre d'interférence permettant de conserver une bonne cohérence temporelle
- Interférences à  $N$  ondes : (pour les 5/2 uniquement cette semaine)
  - Établir la formule fondamentale des réseaux
  - Exprimer l'intensité résultante
  - Déterminer la largeur des pics en fonction du nombre  $N$  d'ondes mises en jeu

### Partie 2 – Exercices imposés

#### Exercice 1 Miroir de Lloyd

On considère un dispositif interférentiel constitué d'une lame de verre plane utilisée comme miroir plan, éclairé sous incidence rasante. Un point source  $S$  émet une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ .

L'écran est placé à la distance  $d$  du bord droit du miroir. La source est à la distance  $a/2$  du miroir et la distance entre la source et le bord droit du miroir est notée  $\ell$ . On rappelle que la réflexion sur un miroir s'accompagne d'un retard de phase égal à  $\pi$ .



1. Les interférences sont obtenues par superposition de l'onde issue directement de  $S$  et de celle réfléchie par le miroir. En déduire quelles sont les deux sources qui produisent des interférences. Sont-elles cohérentes ?
2. Représenter la marche des deux rayons lumineux qui interfèrent en un point  $M$  de l'écran. Vérifier que le dispositif fonctionne bien par division du front d'onde.
3. Décrire le champ d'interférences. Les interférences sont-elles localisées ?
4. Déterminer l'ordre d'interférences  $p(M)$ , la différence de marche  $\delta(M)$  et la différence de phase  $\Delta\varphi(M)$  en un point  $M$  de l'écran.
5. En déduire l'expression de l'intensité vibratoire sur l'écran. Quelle est la forme géométrique des franges d'interférences ? Peut-on remplacer la source ponctuelle par une fente lumineuse allongée dans la direction  $\vec{u}_y$  sans dégrader la visibilité des franges ?
6. On élargit maintenant la fente source dans la direction  $\vec{u}_x$ . Sa largeur  $b$  est répartie également de part et d'autre de la position  $a/2$ . En utilisant le critère de visibilité des franges, estimer l'extension spatiale de la figure d'interférences où les franges restent visibles. On l'exprimera en fonction de l'interfrange  $i$ , de  $a$  et  $b$ .

#### Exercice 2 Mesure de l'indice d'une lame

Une source lumineuse ponctuelle  $S$ , monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$ , est placée au foyer objet d'une lentille mince convergente. Elle éclaire un écran percé de deux trous identiques  $S_1$  et  $S_2$  de très petites dimensions, symétriques par rapport à l'axe optique, distants de  $\ell = S_1S_2$ . La lumière diffractée par ces deux pupilles est reçue sur un second écran plan placé à une distance  $D \gg \ell$  du plan des trous. On s'intéresse à l'intensité lumineuse en un point  $M$  de l'écran situé à la distance  $x \ll D$  de l'axe optique.

1. Représenter le système et déterminer la différence de marche en  $M$ .
2. Déterminer l'expression de l'interfrange  $i$  de la figure d'interférence, en fonction de  $\ell$ ,  $D$  et  $\lambda_0$ .
- Devant la pupille  $S_2$ , on place maintenant une lame de verre, d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n$ . Après installation de la lame, la frange centrale brillante s'est déplacée de 2 cm et se trouve en un point  $M'$  situé en  $x'$ .
3. Déterminer dans quel sens ( $x$  croissant ou  $x$  décroissant) le déplacement a eu lieu.
4. Exprimer la différence de marche  $\delta'$  au point  $M'$ , en fonction de  $\ell$ ,  $D$ ,  $n$ ,  $e$  et  $x'$ .
5. Déterminer la valeur numérique de  $n$  avec  $e = 0,1$  mm,  $\ell = 2,5$  mm et  $D = 1$  m.

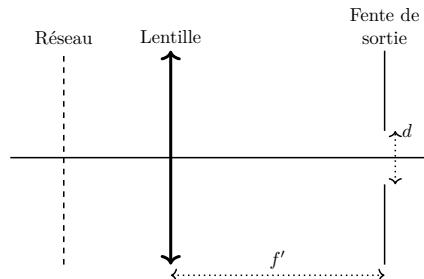
**Exercice 3** Expérience de Young en lumière blanche

On éclaire deux trous d'Young séparés de  $a = 500 \mu\text{m}$  par une source de lumière blanche ponctuelle sur l'axe optique. Un écran est placé à  $D = 1 \text{ m}$  des trous.

1. Représenter le dispositif et rappeler ce que l'on observerait avec une source contenant une seule longueur d'onde : aspect des franges, position de l'ordre  $p = 0$ .
2. Expliquer qualitativement ce qui est observé ici en  $x = 0$ ,  $x$  proche de 0,  $x$  loin de 0.
3. On place une fibre optique reliée à l'entrée d'un spectromètre en  $x = d = 4 \text{ mm}$ . On observe des annulations dans le spectre obtenu, appelées cannelures : expliquer.
4. Trouver le nombre de cannelures et les longueurs d'ondes associées.
5. Expliquer pourquoi si la différence d'ordre d'interférence  $\Delta p$  en un point devient trop grande, il y a brouillage. Rappeler la condition sur  $\Delta p$  pour qu'il y ait brouillage.
6. Déterminer une estimation de la valeur  $x_b$  de  $x$  à partir de laquelle il y a brouillage.

**Exercice 4** Monochromateur à réseau

Un monochromateur à réseau est un dispositif optique permettant de produire une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$  réglable à partir d'une radiation polychromatique. Nous allons étudier le principe sur le modèle simplifié représenté ci-dessous, reposant sur un réseau par transmission.



Ce réseau comporte  $n = 500$  traits par millimètre et est éclairé en lumière parallèle par une source de lumière blanche non représentée sur le schéma. Les rayons incident et émergent forment respectivement des angles  $i_0$  et  $i$  avec l'axe optique orthogonal au réseau. On cherche à isoler la longueur d'onde  $\lambda_0 = 500 \text{ nm}$ .

1. On souhaite observer l'ordre 2 sur l'axe optique pour la longueur d'onde  $\lambda_0$  à isoler. En déduire l'inclinaison  $i_0$  à donner à la source.
2. Considérons un rayon de longueur d'onde  $\lambda' = \lambda_0 + \delta\lambda$  avec  $\delta\lambda \ll \lambda_0$ . Déterminer l'angle  $i'$  avec lequel il émerge du réseau. En déduire la dispersion angulaire du réseau au voisinage de  $\lambda_0$ , qui s'exprime en  $\text{rad} \cdot \text{nm}^{-1}$ .

En sortie du réseau, se trouvent une lentille convergente et une fente de sortie de largeur  $d$  située dans le plan focal image de la lentille.

3. Déterminer les angles en sortie du réseau des rayons passant par les deux extrémités de la fente. En déduire la résolution  $\Delta\lambda$  du monochromateur, c'est-à-dire la largeur spectrale du faisceau de sortie.
4. Comment choisir la largeur de la fente de sortie pour obtenir la radiation la plus pure possible ? En pratique, un compromis est à trouver : expliquer.
5. Comment choisir la distance focale de la lentille pour obtenir la radiation la plus pure possible ? De même, expliquer le compromis à faire.

**Partie 3 – Exercices supplémentaires****Modèle scalaire des ondes lumineuses, notion d'interférences**

- Calculs simples de chemins optiques ou différences de marche, accords de phase
- Applications des relations de Fourier sur les spectres d'émission

**Interférométrie par division du front d'onde (pour les 5/2 uniquement)**

- Interféromètres par division du front d'onde et applications
- Étude de réseaux optiques et applications