

# OPTIQUE 1 - Émission, propagation, détection et interférences de la lumière

Travaux dirigés

## Exercice 1: Ordre de grandeurs pour les ondes lumineuses \*



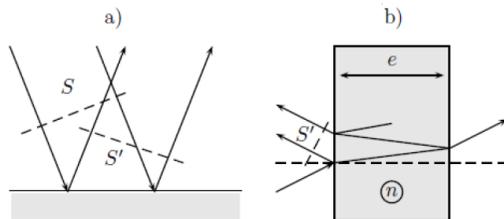
Un laser HeNe rouge émet une onde lumineuse de longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 632,99 \text{ nm}$ . On prendra  $n_{\text{air}} = 1$  et  $n_{\text{eau}} = 1,33$ .

1. Calculer la fréquence de la grandeur vibratoire associée et sa longueur d'onde dans l'air puis dans l'eau. Quelle est la couleur correspondant à cette onde lumineuse ?
2. Ce faisceau laser traverse un composant optique (dit « non-linéaire ») permettant de doubler sa fréquence. Mêmes questions que précédemment.
3. Ce laser a une largeur spectrale  $\Delta\nu = 300 \text{ MHz}$ . En déduire sa largeur spectrale  $\Delta\lambda$  en pm, son temps de cohérence  $\tau_c$  et sa longueur de cohérence  $\ell_c$ . Peut-on raisonnablement observer des interférences dans un laboratoire d'optique en utilisant un Laser HeNe ? Justifier.

## Exercice 2: Attention à l'utilisation du théorème de Malus \*\*

Pour cet exercice, on admet les résultats suivant, qui ne peuvent être démontrés que dans un cadre électromagnétique :

- Une réfraction d'un rayon lumineux n'introduit pas de déphasage supplémentaire.
- Une réflexion d'un rayon lumineux en incidence quasi-normale (angle d'incidence faible) dans un milieu d'indice  $n_1$  sur un dioptré séparant le milieu d'indice  $n_1$  d'un milieu d'indice  $n_2$  s'accompagne d'un déphasage supplémentaire de  $\pi$  seulement si  $n_2 > n_1$ , et également lors de la réflexion sur un miroir parfait. Dans le cas contraire, le rayon réfléchi ne subit pas de déphasage.



1. On considère un ensemble de deux rayons parallèles arrivant sur un miroir plan avec une incidence faible non nulle (figure a). La surface  $S$  est une surface d'onde. La surface  $S'$  est-elle ou non une surface d'onde ? Justifier.
2. Un rayon lumineux arrive sur une lame de verre à faces parallèles d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n$  (figure b) avec une incidence faible. Il se forme un rayon réfléchi et un rayon est transmis dans le verre. Il effectue sur la face de sortie lui aussi une réfraction et une réflexion. On s'intéresse au rayon réfléchi qui va à son tour, en revenant sur la face d'entrée effectuer une réflexion et une réfraction.  $S'$  est-elle ou non une surface d'onde ? Justifier.
3. Montrer que la différence de marche entre le rayon directement réfléchi et le rayon qui effectue un aller-retour dans la lame de verre peut s'écrire :

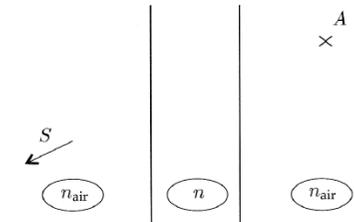
$$\delta = 2ne \cos r + \frac{\lambda_0}{2}$$

où  $r$  est l'angle du rayon réfracté dans la lame par rapport à la normale au dioptré.

*Moralité : on n'applique le théorème de Malus qu'avec les rayons ayant une histoire (nombre et nature des réfraction et réflexions par exemple) identique !*

## Exercice 3: Différence de marche pour une lame à faces parallèles \*\*

Une lame de verre à faces parallèles, d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n$ , est interposée entre une source  $S$  située à l'infini dans l'air, d'indice  $n_{\text{air}}$ , et un point  $A$  situé aussi dans l'air.



1. Tracer soigneusement le rayon lumineux, issu de  $S$ , qui arriverait en  $A$  en l'absence de lame, ainsi que le rayon qui arrive en  $A$  en présence de celle-ci.
2. On s'intéresse à la grandeur  $d = (SA)_{\text{aveclame}} - (SA)_{\text{sanslame}}$ , différence des chemins optiques entre  $S$  et  $A$  en présence et en l'absence de la lame (ces chemins optiques sont infinis). Montrer que :

$$d = e(n \cos r - n_{\text{air}} \cos i)$$

où  $i$  est l'angle d'incidence des rayons lumineux sur la lame et  $r$  l'angle de réfraction.

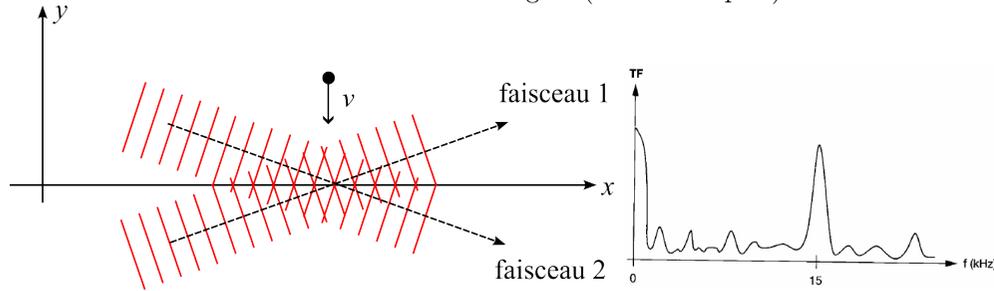
3. Vérifier le résultat dans le cas où  $i = 0$  et donner une expression de  $d$  approchée au deuxième ordre lorsque l'angle  $i$  est très petit.

## Exercice 4: Mesure de vitesse par interférométrie \*\*

On dispose de deux faisceaux laser cohérents, que l'on modélisera par des OPPM faisant un angle faible  $2\alpha$  entre eux. Une particule passe dans le faisceau avec une

vitesse  $\vec{v} = v\vec{e}_y$ . Elle diffuse une quantité de lumière proportionnelle à l'éclairement de l'endroit où elle se situe. Pour les applications numériques, on prendra  $\alpha = 7^\circ$  et  $\lambda = 600\text{ nm}$ .

Grâce à un capteur, on récupère la lumière diffusée (on estimera la diffusion isotrope) et on obtient la transformée de Fourier du signal (donnée ci-après).



1. Les deux faisceaux laser proviennent-ils forcément du même faisceau initial? Justifier. Proposer une méthode expérimentale permettant de les obtenir.
2. Comment s'écrivent les vecteurs d'onde  $\vec{k}_1$  et  $\vec{k}_2$  des deux ondes qui interfèrent dans la base  $(\vec{e}_x, \vec{e}_y)$ ? Proposer alors une représentation complexe pour les deux amplitudes complexes  $a_1(x, y, t)$  et  $a_2(x, y, t)$  sous forme de deux OPPM.
3. Déterminer l'intensité lumineuse  $I(y)$  dans la zone de croisement en l'absence de particule, ainsi que l'interfrange de la figure d'interférence observée.
4. En déduire littéralement et numériquement la vitesse de la particule.