

## Modèle scalaire de l'onde lumineuse



### Questions de cours

---

1. Décrire les sources réelles : LASER, lampe spectrale et source de lumière blanche. Décrire le modèle de la source de lumière monochromatique. Quelle source s'en rapproche le plus ?
2. Décrire le modèle des trains d'onde en introduisant le temps et la longueur de cohérence. Donner des ordres de grandeur pour le LASER. Donner la relation liant la largeur spectrale en fréquence et le temps de cohérence.
3. Donner l'ordre de grandeur de la résolution temporelle de l'œil et d'une photodiode. En déduire ce que les capteurs fournissent comme information.
4. Définir les surfaces d'onde et donner leurs propriétés par rapport aux rayons lumineux et par rapport au chemin optique.
5. Définir le chemin optique.
6. Exprimer le déphasage en un point  $M$  en fonction de la phase au point source  $S$  et du chemin optique ( $SM$ ).
7. Rappeler la définition d'un système stigmatique. Quelle propriété ont les chemins optiques de différents rayons lumineux reliant deux points conjugués par un système stigmatique ?
8. Y a-t-il toujours additivité des amplitudes des vibrations lumineuses  $s(M, t)$  ? Et des éclaircissement  $\mathcal{E}(M)$  ?
9. Quelles sont les conditions pour que deux ondes puissent interférer ? Démontrer la relation de Fresnel si ces conditions sont satisfaites.
10. Définir la différence de marche. Comment peut-on écrire la formule de Fresnel avec la différence de marche ? Quel critère de cohérence peut-on énoncer sur la différence de marche ?
11. Définir les interférences constructives et destructives. Définir l'ordre d'interférence et donner sa valeur pour des interférences constructives et destructives.
12. Définir le contraste. Quelles sont ses valeurs extrêmes ? Dans quels cas sont-elles atteintes ?

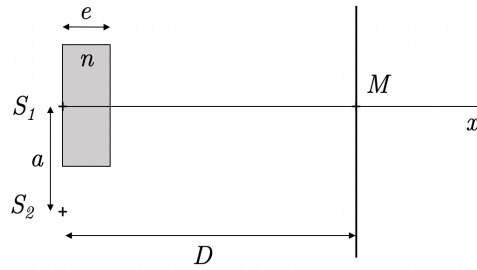


### Exercices de cours - Savoirs-Faire

---

#### SF 1 - Calculer un chemin optique

Exprimer les chemins optiques ( $S_1M$ ) et ( $S_2M$ ) sur le schéma ci-après :



**SF 2 - Tracer des surfaces d'onde**

Dans les configurations suivantes, tracer les images  $A'B'$  conjuguées de  $AB$  et représenter les surfaces d'ondes sur les rayons tracés.

1.

2.

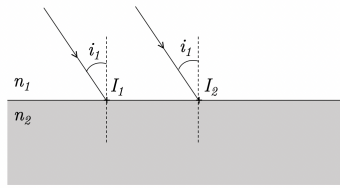
3.



**Exercices phares**

**Exercice 1 - Loi de Snell-Descartes**

Une onde plane arrive sous incidence sur un dioptre plan séparant deux milieux d'indice  $n_1$  et  $n_2$  (voir figure ci-dessous).



On suppose que l'onde transmise est plane également, mais se propage dans la direction.

1. Représenter les plans d'ondes de ces deux ondes.
2. Retrouver la loi de Snell-Descartes sur la réfraction en utilisant la notion de chemin optique.

## Exercice 2 - Tâche d'huile

Une goutte d'huile déposée sur une flaque d'eau s'étale en surface et forme une mince couche dont on supposera l'épaisseur  $e$  constante. Un observateur regarde un reflet du soleil en incidence normale sur la flaque, et en se plaçant à la quasi-verticale de la flaque, il observe une teinte magenta. On rappelle que le magenta est la couleur complémentaire du vert ( $\lambda_{vert} = 550$  nm). On admet que la réflexion d'une onde sur un milieu plus réfringent induit un déphasage supplémentaire de  $\pi$ .

Données :  $n_{eau} = 1,33$  et  $n_{huile} = 1,5$ .

1. En considérant uniquement les interférences entre une onde réfléchie sur l'interface air-huile et l'autre sur l'interface huile-eau, écrire la condition d'interférences destructives en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière dans le vide.
2. Expliquer alors pourquoi le reflet est coloré.
3. Estimer l'épaisseur minimale de la tâche d'huile donnant cette teinte. Peut-on déterminer sans ambiguïté l'épaisseur de la sorte ?



## Exercices en plus

### Exercice 3 - Interférences avec une lampe spectrale

*Exercice d'application directe, pour vérifier qu'on maîtrise la base*

On étudie expérimentalement des interférences avec une lampe spectrale dont on sélectionne la raie de longueur d'onde  $\lambda = 589,3$  nm, à l'aide d'un filtre interférentiel. On observe que la différence de marche ne peut pas dépasser une valeur de l'ordre de 3 cm.

Quel est donc l'ordre d'interférence maximum et l'ordre de grandeur de la largeur spectrale (en longueur d'onde) de la raie ?

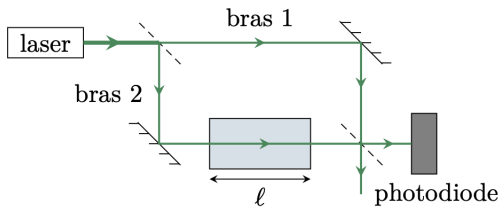
### Exercice 4 - Eclairage et contraste

*Pour bien maîtriser la notion de contraste*

1. Donner la valeur du contraste d'une image :
  - ▷ parfaitement blanche sur toute sa surface,
  - ▷ faite d'une alternance de traits blancs et noirs
  - ▷ présentant une modulation d'intensité lumineuse allant de 9 à 10 (en unité arbitraire).
2. La notice d'un téléviseur LCD (Liquide Crystal Display, écran à cristaux liquides) indique une luminance (intensité lumineuse émise dans une direction donnée, par unité de surface) maximale de  $300 \text{ Cd.m}^{-2}$  et un rapport entre les zones les plus sombres et les plus claires de 1 pour 3000. Calculer le contraste de l'image et la luminance des zones sombres.

### Exercice 5 - Mesure de l'indice optique du méthane

Vers les chapitres suivants : raisonnements sur les décalages de figures d'interférence - très important !



Un interféromètre de Mach-Zehnder, schématisé ci-contre, est composé de deux miroirs et de deux lames semi-réfléchissantes, qui transmettent la moitié de l'intensité lumineuse et réfléchissent l'autre moitié. L'interféromètre est éclairé par un laser de longueur d'onde  $\lambda = 532 \text{ nm}$ , et une photodiode mesure l'intensité dans l'une des voies de sortie de l'interféromètre.

Une cuve fermée de longueur  $\ell = 10,0 \text{ cm}$  est placée dans l'un des bras. Cette cuve contient initialement de l'air, d'indice optique  $n_{air}$ , progressivement remplacé par du méthane d'indice  $n_{CH_4} > n_{air}$ . Au cours de l'opération, la photodiode permet d'observer le défilement de 32 franges.

1. Exprimer l'ordre d'interférence  $p_{air}$  lorsque la cuve est remplie d'air en fonction des longueurs géométriques  $L_1$  et  $L_2$  des bras de l'interféromètre.
2. Exprimer de même l'ordre  $p_{CH_4}$  lorsque la cuve est remplie de méthane.
3. En déduire l'indice optique du méthane, sachant que  $n_{air} = 1 + 2,78 \cdot 10^{-4}$ .



### Exercice pour aller plus loin \*\*\*

### Exercice 6 - lame de verre

Exercice de calculs de déphasage, un peu plus abstrait

Un faisceau de lumière parallèle monochromatique (longueur d'onde dans le vide  $\lambda$ ) arrive sous incidence normale sur une lame de verre à faces parallèles d'indice  $n$  et d'épaisseur  $e$ . On note  $z = 0$  la face d'entrée et  $z = e$  la face de sortie.

1. Donner l'expression de la grandeur lumineuse correspondant au faisceau incident pour  $z < 0$  : on notera  $A$  l'amplitude en  $z = 0^-$  et on supposera qu'en  $z = 0^-$ , la phase est nulle.
2. Une petite fraction de la lumière incidente se réfléchit sur la face d'entrée. L'amplitude de la grandeur lumineuse correspondant à ce rayon réfléchi est  $rA$  où  $r$  est le coefficient de réflexion. Sachant que le phénomène de réflexion sur un milieu plus réfringent s'accompagne d'un déphasage supplémentaire de  $\pi$ , déterminer l'expression de la grandeur lumineuse pour ce faisceau réfléchi pour  $z < 0$ .
3. On considère maintenant le faisceau transmis de l'autre côté de la lame ( $z > e$ ), directement sans réflexion. Comme la partie du faisceau qui a été réfléchi est très minoritaire, on supposera que l'amplitude de la grandeur scalaire est toujours  $A$ . Déterminer l'expression de la grandeur scalaire pour  $z > e$ .