



Optique géométrique et ondulatoire

I Rapports

CCINP 2025 et 2024

En optique, les constructions géométriques manquent fréquemment de rigueur et de clarté.

En particulier, dans le dispositif des trous d'Young en montage de Fraunhofer, les rayons lumineux interférant en un point préalablement fixé sur l'écran sont très souvent tracés au hasard.

L'origine de la différence de marche dans un montage interférentiel n'est pas toujours bien comprise, que ce soit pour le dispositif des trous d'Young en montage de Fraunhofer ou pour un interféromètre de Michelson.

Les observations en lumière blanche sont rarement bien interprétées, en particulier, les cannelures d'un spectre cannelé.

Il apparaît assez clairement que les candidats se limitent à travailler les notions d'optique physique de deuxième année aux dépens de l'optique géométrique de première année.

Mines-Ponts 2025

De manière générale, l'optique géométrique de première année est bien maîtrisée.

Les conditions d'éclairage et d'observation pour les montages de l'interféromètre de Michelson mériteraient d'être mieux connues.

Mines-Ponts 2024

L'optique géométrique est très souvent mal maîtrisée, notamment les constructions, alors qu'elles sont généralement incontournables pour étudier un interféromètre ou un système d'observation réel (lunette astronomique, microscope, appareil photographique, . . .). De même, la représentation d'une différence de marche sur un schéma est un prérequis à l'étude de la géométrie du problème.

L'importance de la discussion sur la cohérence des sources est comprise. Il est cependant regrettable qu'une définition claire de celle-ci n'est que rarement formulée. Quant au critère de brouillage, très majoritairement su, son utilisation est parfois hasardeuse.

Les considérations expérimentales, en particulier sur l'interféromètre de Michelson sont à maîtriser. Pour finir la notion de spectre cannelé est souvent mal comprise par les candidats.

Centrale-Supélec 2025

Le diptyque habituel théorème de Malus et retour inverse de la lumière, exploité dans la recherche de l'expression d'une différence de marche, est mieux maîtrisé. Attention à ne pas poser que tout système interférentiel par division d'amplitude peut être ramené à un interféromètre de Michelson en coin d'air ou lame d'air.

Centrale-Supélec 2024

Il subsiste encore des difficultés dans les constructions géométriques menant au calcul d'une différence de marche. Le vocabulaire est parfois mal maîtrisé. On rencontre des confusions entre différence de marche, de phase et de chemin optique. Les conditions d'interférences sont rarement bien énoncées et traduisent un manque de compréhension des bases de l'optique ondulatoire. Il importe de comprendre la physique qui permet de passer de $d = kl$ entre deux rayons diffractés par deux traits consécutifs d'un réseau à la formule des réseaux à N ondes.

Même si le diptyque retour inverse de la lumière et théorème de Malus est plus souvent évoqué que par le passé, l'énoncé de ce dernier est parfois incomplet et ses conséquences alors mal exploitées. Il faut le reprendre pour bien l'exposer.

Certains fondamentaux de l'optique géométrique font parfois défaut : défaut d'algrébrisation des grandeurs et tracés approximatifs notamment.

II Questions de cours

- Réflexion et transmission par un dioptré ; cas de la réflexion totale.
- Cohérence temporelle en optique.
- L'approximation de Gauss en optique géométrique.
- Minimum de déviation par un réseau.
- Approximation scalaire de l'optique.
- Conditions de formation d'images en optique. Présentation de quelques instruments d'optique.
- Conditions d'obtention d'interférences entre deux ondes lumineuses.
- Protocole de réglage d'un interféromètre de Michelson.
- Phénomène d'interférences à deux ondes et applications.
- Effet laser : nécessité d'une inversion de population.

III Exercices

On rappelle les formules de conjugaison pour une lentille, donnant une image A' d'un objet A sur l'axe optique ainsi que les formules du grandissement, avec origine au centre optique O :

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

avec origine aux foyers :

$$\overline{FA} \times \overline{F'A'} = f \times f' \quad \gamma = \frac{-f}{\overline{FA}} = \frac{\overline{F'A'}}{-f'}$$

1. Projection d'un film – CCINP

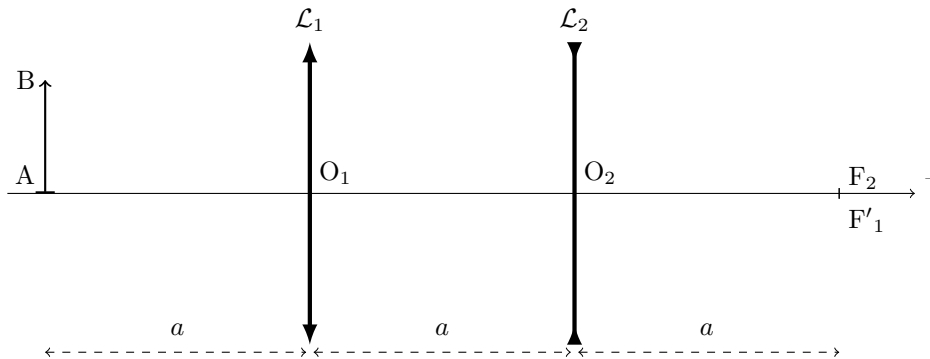
On souhaite projeter un film sur un écran (E). On utilise une lentille convergente (L) de foyer objet F , de foyer image F' et de distance focale image f' . La pellicule, modélisée par un objet AB perpendiculaire à l'axe optique, est située à une distance $d > f'$ du centre O de la lentille. La distance entre la pellicule et l'écran est notée D .

1. Construire l'image de l'objet AB sur l'écran par la lentille (L) en traçant trois rayons.
2. Montrer que la distance d existe si et seulement si f' et D vérifient une relation que l'on déterminera.
3. Exprimer le grandissement transversal G_t du système en fonction de d et f' .
4. Quel grandissement G_t choisir pour obtenir une projection convenable de la pellicule sur l'écran ? En déduire la valeur de d .

Données : taille d'une image sur une pellicule de film 16 mm × 22 mm ; dimension de l'écran de projection 4 m × 5 m. $f' = 6,0$ cm.

2. Lunette de Galilée – CCINP

Une lunette de Galilée est constituée d'une lentille convergente \mathcal{L}_1 et d'une lentille divergente \mathcal{L}_2 . Déterminer géométriquement et analytiquement l'image de A . Quel est le grandissement ?



3. Michelson en lame d'air – CCINP

On considère un michelson éclairé par une source large et monochromatique. L'écran est dans le plan focal image d'une lentille et les deux miroirs sont perpendiculaires.

1. Montrer que le montage est équivalent à une lame d'air.
2. Décrire la figure d'interférence. Déterminer l'évolution du rayon des anneaux si l'anneau central est brillant.
3. On remplace un des miroirs par un miroir concave. Que devient la figure d'interférence ?
4. Déterminer dans ce cas le rayon r_k de la k ième frange brillante.

4. Viseur – CCINP

Un viseur est constitué d'une lentille L_1 convergente ($f'_1 = 5$ cm) et d'un écran situé à $d = 7,5$ cm de L_1 .

Un objet A_1B_1 est placé à 20 cm avant une lentille L dont on ignore la focale. On observe une image nette de l'objet A_1B_1 sur l'écran lorsque L est placé à 5 cm devant L_1 . Calculer la focale f' de L .

5. Microscope – CCINP

Soit un microscope composé de deux lentilles convergentes L_1 et L_2 de distance focale $f'_1 = 5$ mm et $f'_2 = 25$ mm. On a $\overline{F'_1F'_2} = \Delta = 16$ cm. On place un objet AB de taille 0,1 mm tel que A soit sur l'axe optique. A_1B_1 est son image à travers la lentille L_1 et $A'B'$ l'image de A_1B_1 à travers L_2 .

1. (a) Où doit se situer $A'B'$ pour qu'il n'y ait pas d'accommodation de la part de l'observateur ?
 (b) En déduire où est A_1 .
 (c) Calculer $\overline{F_1A_1}$.
 (d) Tracer le schéma expliquant comment on obtient $A'B'$.
2. (a) Calculer le grandissement γ_1 de la lentille L_1 .
 (b) On note α' l'angle formé par les rayons à la sortie de L_2 , calculer α' .
 (c) On place un objet AB de taille 0,1 mm à la distance d de l'œil de l'observateur. En prenant une distance $d = 25$ cm, calculer α , l'angle sous lequel l'objet est observé par l'œil.
 (d) On note $G_c = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right|$ le grossissement du microscope, calculer G_c .

6. Problèmes de vue – Mines-Ponts

Un patient souffre d'un problème de vision. Il ne voit pas les objets nets au-delà de 26,0 cm, ni en-dessous de 13,5 cm.

1. Établir le diagnostic quant à la vision du patient : de quel défaut souffre-t-il ? Proposer une correction adaptée, tout d'abord avec une paire de lunettes qu'il portera à 2cm de ses yeux, ensuite avec des lentilles de contact.
2. Avec l'âge, le patient ne pourra certainement plus lire son journal de près. Comment régler ce défaut ? Ce second problème compensera-t-il le problème initial ?

7. Système afocal – CCINP

On a deux lentilles convergentes de focales f'_1 et f'_2 . Déterminer la distance entre L_1 et L_2 pour avoir un montage afocal, ainsi que le grandissement correspondant.

On considère désormais une convergente (f'_1) et une divergente (f'_3). Distance entre L_1 et L_3 pour avoir un montage afocal ? Grandissement ?

8. Doublet – CCINP

On réalise des interférences lumineuses non localisées avec une source qui émet, avec la même intensité, deux radiations de longueurs d'onde $\lambda_1 = 589,6$ nm et $\lambda_2 = 589,0$ nm. On notera δ la différence de marche entre les deux rayons, issus de la source, venant interférer en un point de l'écran.

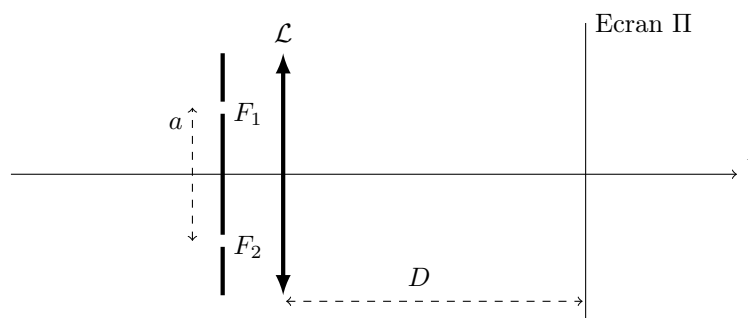
1. Exprimer l'intensité lumineuses en fonction de δ .
2. Représenter $I(\delta)$.
3. Quelle est la valeur de δ correspondant au premier brouillage.

9. Fentes d'Young – Mines

F_1 et F_2 sont deux fentes d'Young très fines éclairées sous incidence normale de longueur d'onde λ , $F_1F_2 = a$. La lentille de distance focale image f' est pratiquement confondue avec le plan des fentes.

Déterminer l'interfrange i sur le plan Π

1. Pour $D = f'$
2. Pour $D = 2f'$



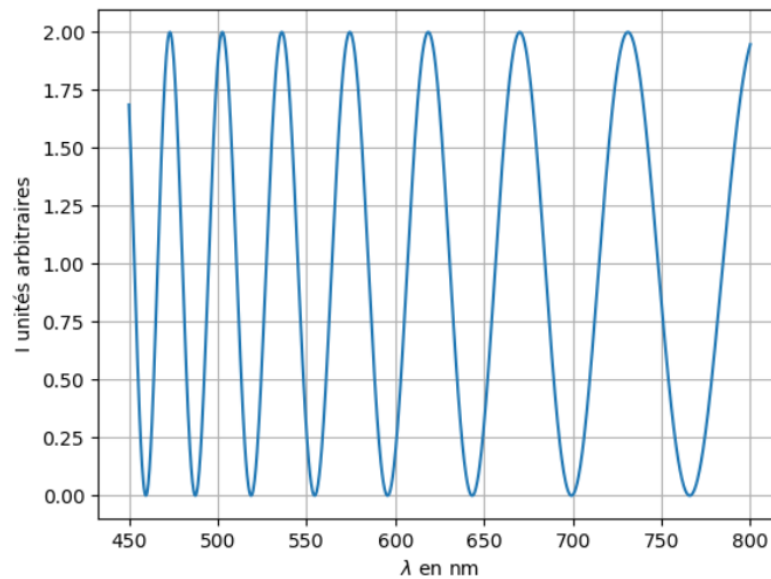
10. Biprisme de Fresnel – Mines

Un biprisme de Fresnel est constitué de deux prismes identiques droits accolés d'angle α faible, d'indice $n \geq 1$. Ce biprisme est éclairé par une source ponctuelle S_0 placée au foyer objet de la lentille convergente. Il s'agit d'une source supposée monochromatique (longueur d'onde dans le vide λ).

Le biprisme présente un angle α égal à $10'$ d'arc.

1. Dessiner le champ d'interférences.
2. Qu'observe-t-on sur un écran situé à une distance D de O ?
3. Calculer l'interfrange.

4. On place un détecteur au centre de la figure d'interférence et on trace $I = f(\lambda)$. On obtient le graphe ci-dessous. Calculer l'épaisseur du film.



13. Mesure de l'indice d'une lame – Mines

Soient deux fentes d'Young distantes de $a = 3,3$ mm et placées à une distance $D = 3,0$ m d'un écran. On place une lame transparente d'épaisseur $e = 100$ μm et d'indice n devant une des deux fentes.

1. Sachant que pour une source monochromatique à $\lambda_0 = 550$ nm les franges sont déplacées de $\Delta x = 47,3$ mm à l'introduction de la lame, déterminer son indice.
2. Les distances sur l'écran sont mesurées avec une précision de 0,01 cm. Précision sur n ?
3. La lame est à présent éclairée en lumière blanche et l'indice varie selon

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

avec $A = 1,5$.

On note $p(x, \lambda)$ l'ordre d'interférence en un point d'abscisse x sur l'écran. Montrer qu'il existe une frange achromatique c'est-à-dire vérifiant $\frac{dp}{d\lambda}(x_0) = 0$. Trouver sa position et l'ordre correspondant.

Quelle est la « couleur » de cette frange ?

14. Minimum de déviation d'un réseau par transmission

Soit un réseau par transmission de pas a éclairé sous une incidence i .

1. Donner l'expression de la déviation D_k du rayon correspondant à la longueur d'onde λ dans l'ordre k .
2. Montrer que, si l'on fait tourner le réseau autour d'un axe parallèle aux traits, cette déviation passe par un minimum D_{kmin} .
3. On mesure $D_{kmin} = 19^\circ$ pour $\lambda = 550$ nm à l'ordre 3. En déduire le pas du réseau.

15. Bilentilles – Mines

Une source S fine, monochromatique $\lambda_0 = 589,3$ nm est placée dans le plan focal objet d'une lentille convergente \mathcal{L}_0 . Un peu plus loin sont placées les deux moitiés d'une lentille convergente \mathcal{L} de focale 25 cm sciée en deux suivant un diamètre; les deux moitiés sont écartées symétriquement de $2\epsilon = 2$ mm. L'intervalle ainsi créé est obturé par un cache opaque. On observe les interférences sur un écran situé à une distance $d = 50$ cm.

1. Réaliser une figure claire et expliquer. Déterminer la largeur du champ d'interférence, l'interfrange, le nombre de franges visibles.
2. La source est en fait un doublet $\lambda_1 = 589,0$ nm et $\lambda_2 = 589,6$ nm. Au bout de combien de franges, y a-t-il brouillage? Conclusion?
3. On place entre les deux lentilles avant \mathcal{L} une lame à face parallèle d'indice $n = 1,52$. Déterminer son épaisseur e pour visualiser au centre de l'écran la première anti-coïncidence.

16. Oscillations d'une cavité optique résonnante

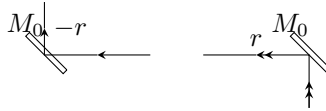


Fig. 1

On considère une cavité optique en anneau, de longueur totale L , formée de 3 miroirs : M_1 concave, M_2 plan, M_0 séparatrice partiellement transparente. M_1 et M_2 sont considérés comme parfaitement réfléchissants et n'introduisant aucun déphasage. M_0 est caractérisée par le coefficient de transmission en amplitude $t > 0$ indépendant du sens de propagation, et par le coefficient de réflexion en amplitude $r > 0$ sur la face inférieure, $(-r)$ sur la face supérieure (fig.1) : $r^2 + t^2 = 1$.

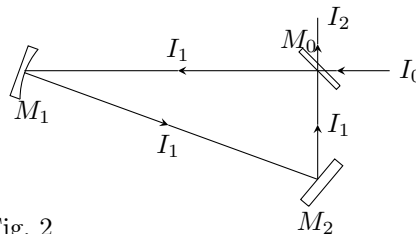


Fig. 2

1. On éclaire la cavité par un faisceau de lumière parallèle monochromatique de longueur d'onde λ_0 . Le milieu n'est ni absorbant, ni amplificateur : l'intensité du faisceau est la même en tout point du trajet intérieur (fig.2). Calculer les intensités I_1 et I_2 des faisceaux dans l'anneau et en sortie en fonction de $\phi = \frac{2\pi L}{\lambda_0}$.
2. Calculer les valeurs minimales et maximales de I_1 . Calculer dans chacun de ces deux cas la valeur de la longueur L en fonction de λ_0 . Soit $r = 1 - \epsilon$, avec $\epsilon \ll 1$. Donner l'allure de la courbe $I_1(\phi)/I_0$.

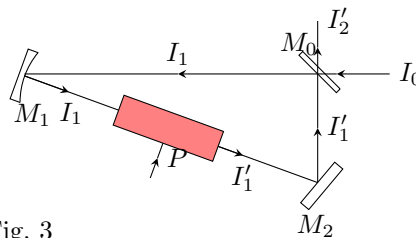


Fig. 3

3. On place désormais (fig.3) un milieu amplificateur de lumière dans l'un des bras de la cavité. Le gain en amplitude (resp. en puissance) de cet amplificateur est $\gamma > 0$ (resp. $G = \gamma^2$). On note P la puissance du faisceau pompe nécessaire pour faire fonctionner le mode amplificateur (fig.4) : $GI = P + I$.
 - Calculer I_1/I_0 , I'_2/I_0 en fonction de ϕ, γ et r .
 - À quelle condition peut-on avoir $I'_2 > I_0$? Montrer que la valeur résonnante de I'_2 peut être très élevée sous certaine condition. Quelle est la longueur de la cavité à la résonance? Discuter.
 AN : $G = 1, 1$; $r^2 = 0,9$. Calculer I'_{2max}/I_0 , I'_{2min}/I_0 .

4. Mode laser : I_0 est désormais nul.
 - Quelles sont les conditions à réaliser pour que I_1 et I'_2 ne le soient pas? Interpréter.
 - Montrer que l'ensemble des fréquences que peut émettre un laser est dénombrable.