

La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les réponses aux questions doivent être encadrées.

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Résolution de problèmes.

Voici la photo d'un pont permettant le passage sous une route à 2×2 voies séparées par un terre-plein central et une voie d'accès. Elle a été réalisée avec un appareil photographique numérique :

- format de l'image sur la pellicule : 24 mm×36 mm ;
- distance focale de l'objectif assimilé à une lentille mince convergente : $f=35\text{mm}$.

On rappelle que lorsque la distance entre l'objet à photographier et l'objectif est très supérieure à la distance focale f , l'image se forme dans le voisinage immédiat du plan focal image de l'objectif.



1. Déterminer la longueur du tunnel sous le pont.

Exercice 1 : système d'asservissement du faisceau laser d'un lecteur CD-DVD

Le positionnement de la tête de lecture d'un lecteur de CD-DVD sur le disque doit être assuré avec précision, afin que la tache lumineuse du faisceau laser focalisé sur le disque soit la plus fine possible et qu'elle soit correctement positionnée sur le sillon.

Du fait des défauts du disque, il est nécessaire d'asservir la position de la tête de lecture à celle de la piste qu'elle doit lire. Nous nous intéressons dans cette partie uniquement à la détection de cette erreur de focalisation.

Un prisme d'indice n et d'angle au sommet A est représenté sur la figure 1. Un rayon incident arrive sur la face d'entrée avec un angle i par rapport à la normale. Les angles dans le prisme sont notés r et r' par rapport aux normales respectives, et l'angle de sortie i' . La déviation globale entrée-sortie est notée D .

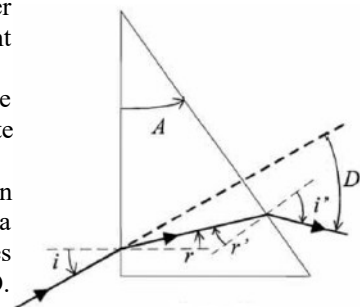


FIGURE 1

1. Écrire la loi de Snell-Descartes pour la réfraction en entrée du prisme et en sortie du prisme.
2. Etablir, par une étude géométrique, une relation liant r , r' et A .
3. Etablir, par une étude géométrique, l'expression de la déviation D en fonction de i , i' et A .
4. Montrer que dans l'approximation des petits angles, la déviation en valeur absolue vérifie $|D|=(n-1)A$

Un prisme rectangle de petit angle A est disposé selon la configuration de la figure 2 : la face d'entrée est dans le plan yO_1z et la base dans le plan xO_1y . La longueur de sa base est notée b_1 et sa hauteur est notée h_1 . Une source lumineuse ponctuelle S est placée aux coordonnées $(-d, 0)$ dans le plan xO_1z . On suppose que $d \gg h_1 \gg b_1$.

On admet qu'aux petits angles, le prisme est un instrument stigmatique au sens approché du terme et qu'il forme à partir du point source S une source image S' qui a pour coordonnées $(-d, z_0)$ dans le plan xO_1z .

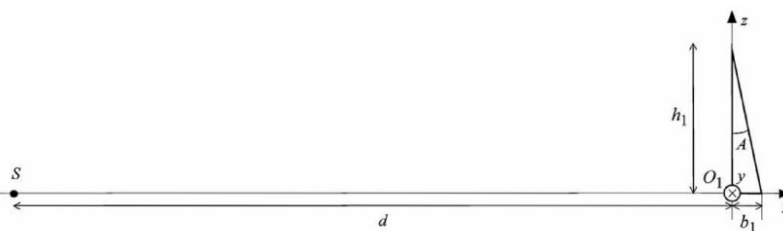


FIGURE 2

5. On suppose uniquement pour cette question que $z_0 = \frac{h_1}{2}$. Reproduire sur votre copie le schéma de la figure 2. et placer la source image S' . Tracer deux rayons lumineux bien choisis partant de S et traversant le prisme pour former le point image S' .
6. Montrer, avec l'hypothèse des petits angles, que $z_0 = (n-1)Ad$

Pour détecter un défaut de focalisation du faisceau lumineux sur le disque, on utilise un système mettant en œuvre un double coin prismatique dont nous allons étudier le principe, mais avec un dispositif légèrement simplifié. Ce dispositif, schématisé sur la figure 3, est constitué d'une lame semi-réfléchissante, d'une lentille L_2 , d'un double coin prismatique de hauteur totale $2h_1$, et d'un ensemble de 4 capteurs lumineux. Le faisceau parallèle issu du LASER commence par traverser la lame semi-réfléchissante en direction du disque réfléchissant (direction parallèle à l'axe $O'z$). Après réflexion sur le disque une partie de la lumière est réfléchi par cette même lame semi-réfléchissante dans la direction de l'axe $O'x$.

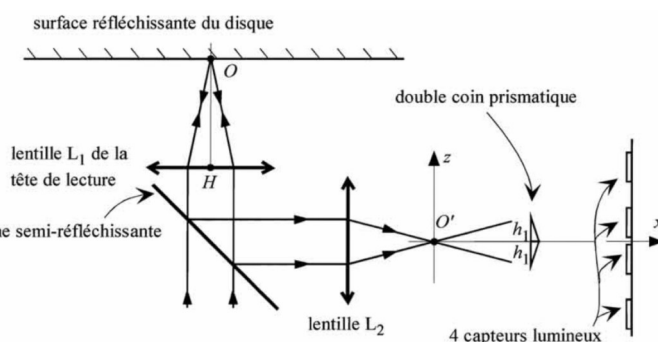


FIGURE 3

Le disque optique est assimilé à un miroir plan parfait. La focalisation est bonne lorsque le point O du disque optique est confondu avec le foyer image F_{01} de la lentille L_1 . À la sortie de la lentille L_2 , le faisceau converge alors au point O' , origine du repère $xO'z$ adopté pour cette partie.

7. Rappeler le lien qui existe entre l'objet et l'image conjuguées par un miroir plan.
 8. Si on suppose qu'une perturbation entraîne une légère translation du disque d'une distance δ vers le bas sur la figure 3. Montrer par une construction que le point de focalisation du faisceau noté N est translaté d'une distance 2δ vers le bas et que $\overline{ON} = 2\delta$.
 9. On note N' le nouveau point de convergence des rayons après la traversée de L_2 . Indiquer qualitativement où est situé N' par rapport à O' , en expliquant clairement votre raisonnement.
 10. Où sont alors situées les deux images de N' à travers le double prisme ?
- Lorsque N est confondu avec O , le faisceau lumineux issu du prisme du haut semble provenir de l'image O'_1 de O' à travers ce prisme, et recouvre la moitié de chacun des capteurs $N^{\circ}3$ et 4, comme le montre la figure 4.
11. Sans calcul, et à l'aide d'un schéma, décrire comment sont modifiées les zones éclairées sur les capteurs si le point N' se trouve sur l'axe $O'x$ et par exemple légèrement décalé vers la droite de O' . Justifier.

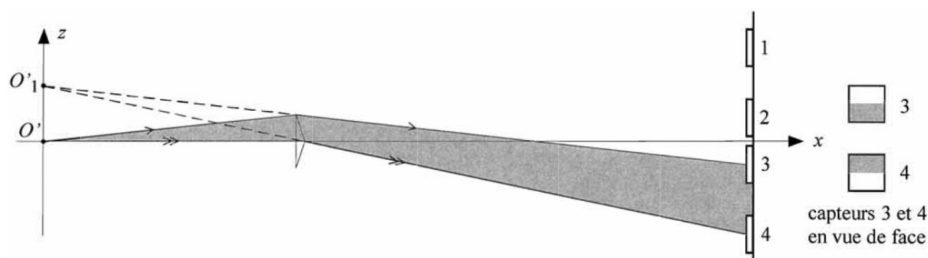


FIGURE 4

On a analysé l'influence d'une translation du disque et le décalage de N selon la direction O'x. On peut analyser l'influence des autres déplacements du disque sur l'éclairement des 4 capteurs. Ces éclairements sont alors analysés et la démarche débouche sur une correction de la position du disque par un traitement électronique.

Exercice 2 : endoscope.

1. Nommer et énoncer les conditions dans lesquelles on exploite les lentilles minces.
2. Nommer et préciser proprement le sens des deux propriétés supposées des lentilles minces dans ces conditions.

Un endoscope est un appareil d'optique utilisé en investigation paraclinique permettant l'observation, sous faible grossissement, de cavités et de conduits naturels : appareil digestif, appareil respiratoire.

Le tube de l'endoscope comporte un objectif, un oculaire, et un système optique transportant l'image objective qui sera étudié dans la deuxième partie du problème.

La lumière nécessaire à l'observation est conduite jusqu'à l'objet par un guide de lumière parallèle au tube endoscopique. L'axe optique est orienté dans le sens de propagation de la lumière (de gauche à droite). Les objets et les images perpendiculaires à l'axe optique sont mesurés algébriquement sur l'axe orienté vers le haut de la page. Les conditions de l'approximation de Gauss sont supposées remplies.

On assimile l'objectif à une lentille mince convergente L_{ob} de distance focale $f_{ob} = 10$ mm. L'objet $[AB]$ assimilé à un segment de droite perpendiculaire à l'axe optique (A sur l'axe) est placé à une distance $D=50$ mm devant le centre optique O_{ob} de L_{ob} ; l'image produite par l'objectif est notée $[A_0B_0]$

3. Exprimer la position de l'objet en donnant $\overline{O_{ob}A}$. Déterminer la position $\overline{O_{ob}A_0}$ de l'image intermédiaire donnée par l'objectif. Faire l'application numérique et commenter.
4. Définir et exprimer le grandissement γ_0 de l'objectif. Faire l'application numérique et commenter.

L'image intermédiaire $[A_0B_0]$ est observée à travers un oculaire assimilé à une lentille mince convergente L_{oc} de centre O_{oc} , de distance focale image $f_{oc} = 20$ mm. On note F_{oc} le foyer objet et F_{oc}' le foyer image de l'oculaire.

5. Pour un œil normal effectuant une observation sans accommodation, indiquer la position de l'image finale produite par l'oculaire. Indiquer alors la position de A_0 par rapport à l'oculaire.
6. Faire un schéma complet (mais pas à l'échelle) de l'endoscope dans cette configuration.
7. Exprimer α_{pp} l'angle sous lequel serait vu l'objet placé au punctum proximum de l'œil pour une observation directe, on notera $d_{min}=20$ cm la distance minimale pour une observation à l'œil nu. Exprimer également α' l'angle sous lequel est vue l'image finale $[A_fB_f]$ construite par l'endoscope.

Exprimer et calculer alors le grossissement commercial $G = \left| \frac{\alpha'}{\alpha_{pp}} \right|$. Commenter.

Pour allonger la distance entre l'objet et l'oculaire, on intercale une association de lentilles entre l'objectif et l'oculaire. L'image A_0 fournie par l'objectif est reprise par une série de p doublets de lentilles convergentes identiques ($p \in \mathbb{N}$), de distance focale f' , telles que le foyer image de l'une soit confondu avec le foyer objet de la suivante. Le foyer objet ϕ_1 de la première lentille de la série est placé en A_0 .

On note $[A_1B_1]$ l'image de $[A_0B_0]$ donnée par les deux premières lentilles; Ces lentilles sont notées (l_1) et (l_2) de foyers objets respectifs ϕ_1 et ϕ_2 , leurs foyers image étant ϕ_1' et ϕ_2' .

8. Quelle est la position de $[A_1B_1]$? On établira pour cela l'expression de la distance $\overline{A_0A_1}$.
9. Sur un schéma représentant le système $(l_1; l_2)$ et l'objet $[A_0B_0]$, construire l'image $[A_1B_1]$ à l'aide de deux rayons issus de B_0 .
10. Quelle est la mesure algébrique $\overline{A_1B_1}$ de cette image en fonction de $\overline{A_0B_0}$. Quelle sera la taille $\overline{A_pB_p}$ de l'image à la sortie de la série de doublets?
11. On utilise $p=17$ doublets de lentilles semblables ($p = 17$), de distance focale $f'=15$ mm. Sur quelle longueur est transportée l'image par cette association? On fera une évaluation numérique.

On s'intéresse maintenant à la luminosité de l'image en sortie de l'endoscope. On note O_k le centre optique de la k ème lentille dans le réseau de lentilles transporteur d'image.

12. Quelle est la distance séparant deux lentilles successives de l'endoscope? En déduire que chaque lentille fait l'image de la lentille qui la précède sur la lentille qui la suit. Préciser le grandissement correspondant. En déduire que toute la lumière qui entre dans l'endoscope ressortira de l'endoscope.
13. En réalité, une lentille ne laisse passer qu'une fraction T de la puissance lumineuse qu'elle reçoit (à cause principalement des réflexions sur les faces air-verre). Pour une lentille ordinaire, $T=0,900$. Quelle fraction de la puissance lumineuse est effectivement transportée par ces 34 lentilles?
14. Même question pour des lentilles antireflet multicouches, avec $T = 0,996$. Commenter.