

COLLÈGE LIONEL-GROULX – DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

SIGLE DU COURS : NYC

NOM DU CHARGÉ DE COURS : Philippe Laporte

TITRE DU COURS : Ondes, Optiques et Physique Moderne

- EXAMEN INTRA
 EXAMEN FINAL
 EXAMEN DIFFÉRÉ
 EXAMEN FORMATIF

DATE : 4 novembre 2024

DURÉE : 1h40

SALLE : D-306

DIRECTIVES PÉDAGOGIQUES : calculatrice programmable calc. non-prog.
 docu. permise (1 page recto-verso) docu. non-permise
 examen imprimé recto-verso feuille de formules

Nom : _____

Prénom : _____

Groupe : 1 2 3

L'examen est sur 100 (+3) points, a 10 questions et compte pour 20% de la note finale.
Il y a un total de 16 pages à l'examen.

Répondez à **TOUTES LES QUESTIONS** et choisissez la **meilleure** réponse ou les **meilleures** réponses dans le cas où plusieurs choix sont spécifiés.

Vous devez répondre à chaque question en utilisant les concepts et les formules pertinents. Votre démarche doit être transparente et claire. Tout manque de clarté sera la responsabilité de l'étudiant. Les réponses doivent inclure les unités, le cas échéant.

Les dernières pages du document contiennent des informations et formules utiles. Vous pouvez vous en servir dans n'importe quel énoncé, sauf sous mention explicite contraire. Idéalement, veuillez indiquer quelle formule vous utilisez et dans quel contexte, le cas échéant.

Veuillez répondre aux questions **directement dans le document**, dans les espaces alloués. Au besoin, vous pouvez utiliser une autre feuille, en indiquant clairement à quelle question vous répondez.

Il est absolument interdit de sortir durant l'examen. Toute forme de communication ou d'utilisation de matériel non explicitement permis sera considérée comme du plagiat et entraînera les sanctions académiques et disciplinaires pertinentes.

1 Questions à Développement (4 Questions)

1. (15 points) Considérez la figure 1. Supposons que le rayon de lumière incident soit composé de deux longueurs d'onde différentes, λ_1 et λ_2 . Supposons également que, dans l'huile, l'indice de réfraction du rayon de longueur d'onde 1 soit $n_{\lambda_1} = 1.465$ et que celui du rayon de longueur d'onde 2 soit $n_{\lambda_2} = 1.477$. Supposons que le rayon fasse un angle de $\theta = 60$ degrés par rapport à la surface.
 - (a) (7 Points) Démontrez que les rayons sortants sont parallèles (après les calculs, n'oubliez pas d'indiquer votre conclusion);
 - (b) (7 Points) Trouvez la distance δ entre les deux rayons dans l'eau (ici, la distance est mesurée à l'interface huile-eau), pour une épaisseur e quelconque. Quelle serait-elle pour $e = 10$ mm ?
 - (c) (1 Point) Est-ce que ce montage serait une bonne façon de séparer les longueurs d'onde ? Justifiez.

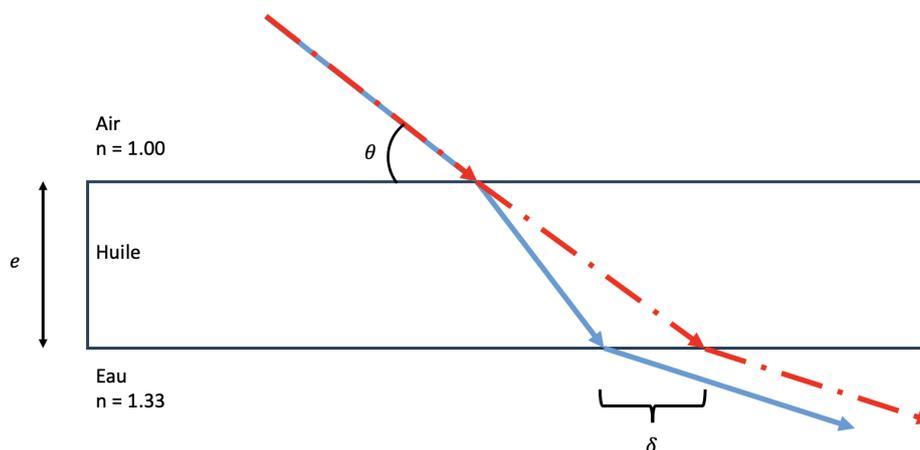


FIGURE 1 – Prisme pour la question 1 (rien n'est à l'échelle)

Lösung:

- (a) **Distribution des Points** : Pour le premier rayon : 1 pt pour le bon angle d'incidence, 1 pt pour la première réfraction, 1 pt pour l'angle par symétrie, 1 pt pour la deuxième réfraction. Pour le deuxième rayon, 2 pts globaux. 1 pt pour une conclusion sur le parallélisme.

Commençons par le rayon rouge. Après la première réfraction, son angle sera

$$n_{\text{air}} \sin(30^\circ) = n_{\lambda_1} \sin(\theta_{\text{in,rouge}}) \Rightarrow \theta_{\text{in,rouge}} = \arcsin(\sin(30^\circ)/n_{\lambda_1}) \approx 19.79^\circ$$

Par symétrie (angle alterne-interne), l'angle du faisceau rouge frappant l'interface du bas sera le même.

Par la suite, l'angle sortant sera

$$n_{\lambda_1} \sin(47.10^\circ) = n_{\text{eau}} \sin(\theta_{\text{out,rouge}}) \Rightarrow \theta_{\text{out,rouge}} = \arcsin(1.465 \sin(47.10^\circ) \cdot n_{\text{eau}}) \approx 22.02^\circ$$

De la même façon pour le rayon bleu :

$$n_{\text{air}} \sin(30^\circ) = n_{\lambda_2} \sin(\theta_{\text{in,bleu}}) \Rightarrow \theta_{\text{in,bleu}} = \arcsin(\sin(30^\circ)/n_{\lambda_2}) \approx 19.96^\circ$$

$$n_{\lambda_2} \sin(47.10^\circ) = n_{\text{eau}} \sin(\theta_{\text{out,bleu}}) \Rightarrow \theta_{\text{out,bleu}} = \arcsin(1.477 \sin(47.10^\circ) \cdot n_{\text{eau}}) \approx 22.02^\circ$$

Les rayons sont parallèles à la sortie.

- (b) **Distribution des Points** : Il y a un total de 3 triangles à faire. 1 pt par triangle, 1 pt par relation trigonométrique pertinente, 1 pt pour le calcul. Même processus qu'en classe.
- (c) Ce montage est meilleur que celui vu en classe, parce que les rayons ne sont pas parallèles. Plus l'écran sera loin et plus la séparation des raies de lumière sera grande, peu importe l'épaisseur de la couche d'huile.

2. (10 points) Considérez un miroir concave de longueur focale de 10 cm. Si un objet est placé de telle sorte que l'image soit du double de sa taille, déterminez
- (a) (6 Points) La/Les position(s) de l'objet;
Note : Justifiez l'utilisation de chaque signe. *Indice* : Portez bien attention à la formulation de la question.
- (b) (4 Points) Un schéma pour chaque possibilité, avec au moins deux rayons principaux chaque.
- (c) (1 Point Bonus) Une relation générale pour la partie (a), sans utiliser de chiffres.

Lösung: Distribution des Points : 2 pts pour la bonne formule, 2 pts pour le calcul et 1 pt pour la justification explicite des signes.

- (c) De façon générale, $G = -q/p \Rightarrow q = -Gp$.
 En utilisant la loi des miroirs,

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \\ &= \frac{1}{p} - \frac{1}{Gp} \\ &= \frac{1}{p} \left[1 - \frac{1}{G} \right] \\ \Rightarrow p &= f \left[1 - \frac{1}{G} \right] \end{aligned}$$

- (a) Ici, il y a deux possibilités pour G : $G = -2$ et $G = 2$. Puisque le miroir est concave, $f = +10\text{cm}$
 Si $G = -2$:

$$p = +10 \left[1 - \frac{1}{-2} \right] = 10 \left[\frac{3}{2} \right] = +15 \text{ cm (il s'agit d'un objet réel)}$$

- Si $G = +2$:

$$p = +10 \left[1 - \frac{1}{+2} \right] = 10 \left[\frac{1}{2} \right] = +5 \text{ cm (il s'agit d'un objet réel)}$$

- (b)

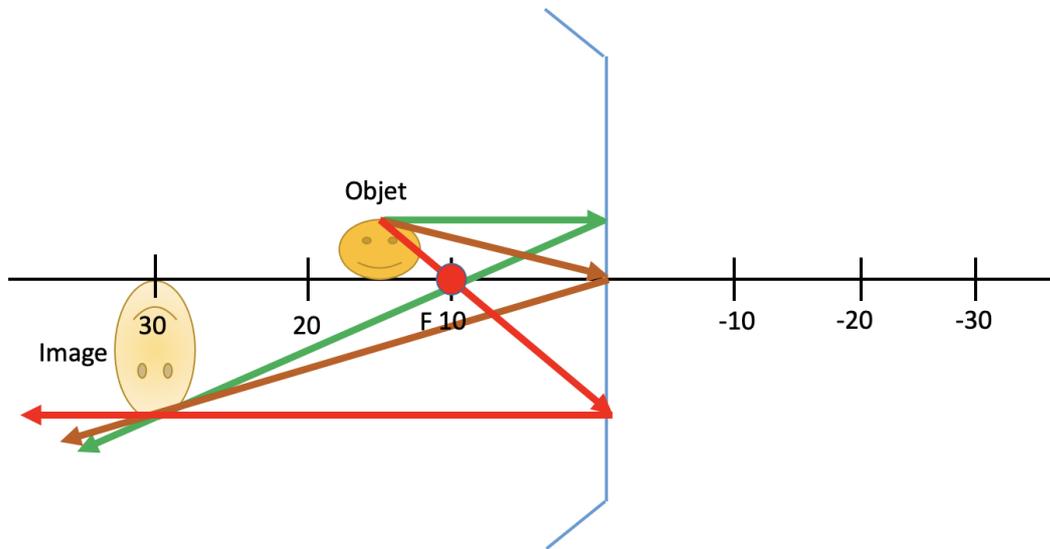


FIGURE 2 – $p = +15$ cm

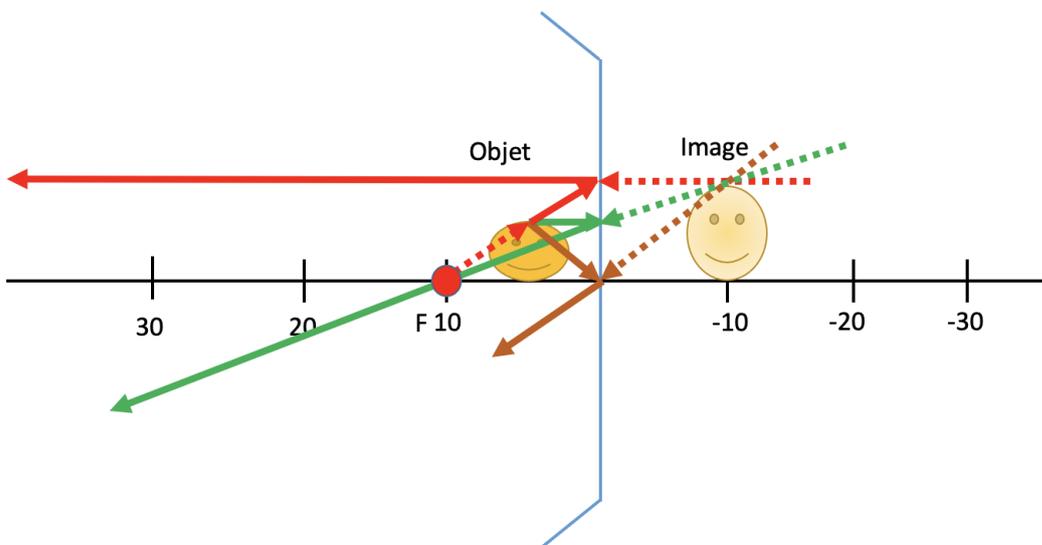


FIGURE 3 – $p = +5$ cm

3. (20 points) Notre écureuil national a une vision parfaite. Il peut voir extrêmement loin clairement et peut lire de très près (5 cm). Le raton laveur, quant à lui, doit avoir des lunettes, puisqu'il ne peut pas voir à au-delà de 1 mètre, étant myope.
- (a) (2 Points) Quels sont les *Punctum Proximum* et *Punctum Remotum* (les *Puncta*, au pluriel) de l'écureuil? Justifiez chaque signe.
- (b) (5 Points) Si la taille du globe oculaire de l'écureuil est de l , quelle est l'amplitude d'accommodation qu'il peut faire?
- (c) (3 Points) Quelle est la distance focale des verres correcteurs du raton laveur. Justifiez chaque signe.
- (d) (3 Points) Expliquez le fonctionnement de ses verres correcteurs, lui permettant de voir clairement. Au besoin, faites les schémas pertinents.
- (e) (7 Points) L'écureuil a volé les lunettes du raton laveur. Quel mécréant! Comment est affectée sa vision. Soyez quantitatifs, mais utilisez aussi des mots pour qualifier ce qui se produit. Pensez aux *Puncta*!

Lösung:

(a) **Distribution des Points** : 1 pt pour PP, 1 pt pour PR, avec le signe (2 pts)
Le PP est de +5 cm et le PR est de $+\infty$. Chaque signe est positif, car il s'agit d'objets réels pouvant être vus.

(b) **Distribution des Points** : 2 pts pour PP et V_{\max} , 2 pts pour PR et V_{\min} et 1 pt pour la réponse.

Pour que l'image formée soit nette, elle doit tomber sur la rétine, soit une distance de l .

Au PR :

$$V_{\min} = \frac{1}{f_{\max}} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{l} = \frac{1}{l}$$

Au PP :

$$V_{\max} = \frac{1}{f_{\min}} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p} = \frac{1}{0.05} + \frac{1}{l} = 20 + \frac{1}{l}$$

Et donc,

$$\Delta V_{\text{acc}} = V_{\max} - V_{\min} = 20 + \frac{1}{l} - \frac{1}{l} = 20$$

(c) **Distribution des Points** : 1 pt pour le signe de f , 1 pt pour le signe de q , 1 pt pour la réponse.

Puisque le raton laveur est myope, il aura besoin de lentilles divergentes ($f < 0$). Il voudra qu'un objet à l'infini crée une image à 100 cm (son PR), pour lui permettre de le voir clairement. Cette image devra être virtuelle, pour être vue ($q < 0$). Ainsi,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-100} \Rightarrow f = -100 \text{ cm (lentille divergente)}$$

(d) **Distribution des Points** : 1 pt pour PP, 1 pt pour PR.

La myopie cause la création d'une image devant la rétine lorsque l'objet est à l'infini. Il est donc nécessaire de repousser l'image créée par le cristallin plus loin. L'utilisation de lentilles divergentes permet de créer une image virtuelle plus proche, qui servira d'objet réel pour l'œil.

(e) **Distribution des Points** : 1 pt pour PP, 1 pt pour PR.

Avec les verres du raton laveur, l'écureuil pourra voir de proche n'importe quel objet pour lequel les verres créent une image virtuelle à 5 cm (-5 cm). En d'autres mots :

$$\begin{aligned}\frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \\ \frac{1}{p} &= \frac{1}{f} - \frac{1}{q} \\ \frac{1}{p} &= \frac{1}{-100} + \frac{1}{5} \\ \frac{1}{p} &= \frac{-1 + 20}{-100} \\ \frac{1}{p} &= \frac{19}{-100} \\ \Rightarrow p &= 100/19 \approx 5.26 \text{ cm (objet réel)}\end{aligned}$$

L'écureuil pourra maintenant voir, techniquement, un objet placé devant lui à 5.26 cm. Son PP s'est donc éloigné (il voit moins bien de proche). Maintenant, pour créer une image virtuelle à l'infini ($q \rightarrow -\infty$), cela implique que En d'autres mots :

$$\begin{aligned}\frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \\ \frac{1}{p} &= \frac{1}{f} - \frac{1}{q} \\ \frac{1}{p} &= \frac{1}{-100} - \frac{1}{-\infty} \\ \frac{1}{p} &= \frac{1}{-100} \\ \Rightarrow p &= -100 \text{ cm (objet virtuel)}\end{aligned}$$

L'écureuil ne pourra donc plus créer des images de l'infini au bon endroit : ces images se formeront derrière la rétine. Les lunettes rendront l'écureuil hypermétrope. Il ne pourra pas nécessairement voir le raton laveur lui sauter dessus par vendetta (quoique celui-ci non plus...)

4. (30 points) Considérons une lentille divergente de longueur focale de 10 cm, distant de 20 cm d'un miroir concave de longueur focale de 5 cm. Considérons un objet de 20 cm de hauteur placé à 15 cm à gauche de la lentille divergente.
- (a) (15 Points) Où apparaît l'image finale? Vous devez justifier le signe de chaque variable que vous utilisez.
- (b) (5 Points) Quelle est la taille de l'image finale?
- (c) (10 Points) Faites un schéma de la situation, en indiquant la position des objets et des images et en traçant au moins deux rayons principaux par lentille/miroir. Utilisez vos schémas pour confirmer si vos réponses sont concordantes entre (a), (b) et (c).

Lösung:

(a) Ici, $f_1 = -10$ cm (lentille divergente), $f_2 = +5$ cm (miroir convergent), $p_1 = +15$ cm (objet réel) et $h_{o,1} = +20$ cm (pointe vers le haut). La distance entre les objets est $d = 20$ cm.

La position de la première image sera

$$\frac{1}{q_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{p_1} = -\frac{1}{10} - \frac{1}{15} = \frac{-3-2}{30} = \frac{-5}{30} = \frac{-1}{6} \Rightarrow q_1 = -6 \text{ cm}$$

Cette image est virtuelle (signe -) et à gauche de la lentille initiale.

Par le Principe de Huygens, cette image 1 sera l'objet 2. Elle sera à $p_2 = q_1 + d = 6 + 20 = 26$ cm du miroir (+, car objet réel).

Pour la deuxième image, sa position sera

$$\frac{1}{q_2} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{p_2} = +\frac{1}{5} - \frac{1}{26} = \frac{26-5}{130} = \frac{21}{130} \Rightarrow q_2 = \frac{130}{21} \approx +6.19 \text{ cm}$$

Cette deuxième image est réelle (signe +) et à gauche du miroir, donc entre le miroir et la lentille.

(b) Chaque objet a son grossissement.

Pour la lentille :

$$m_1 = -q_1/p_1 = -(-6)/15 = 6/15 = 2/5 \Rightarrow h_{i,1} = m_1 h_{o,1} = \frac{2}{5} 20 = 8 \text{ cm}$$

La hauteur de cette image est positive et donc pointera vers le haut.

Par la suite, le miroir causera un grossissement :

$$G_2 = -q_2/p_2 = -(130/21)/26 = -5/21 \Rightarrow h_{i,2} = G_2 h_{o,2} = \frac{-5}{21} 8 = -40/21 \approx -1.90 \text{ cm}$$

L'image finale sera donc plus petite que celle initiale et sera inversée.

(c)

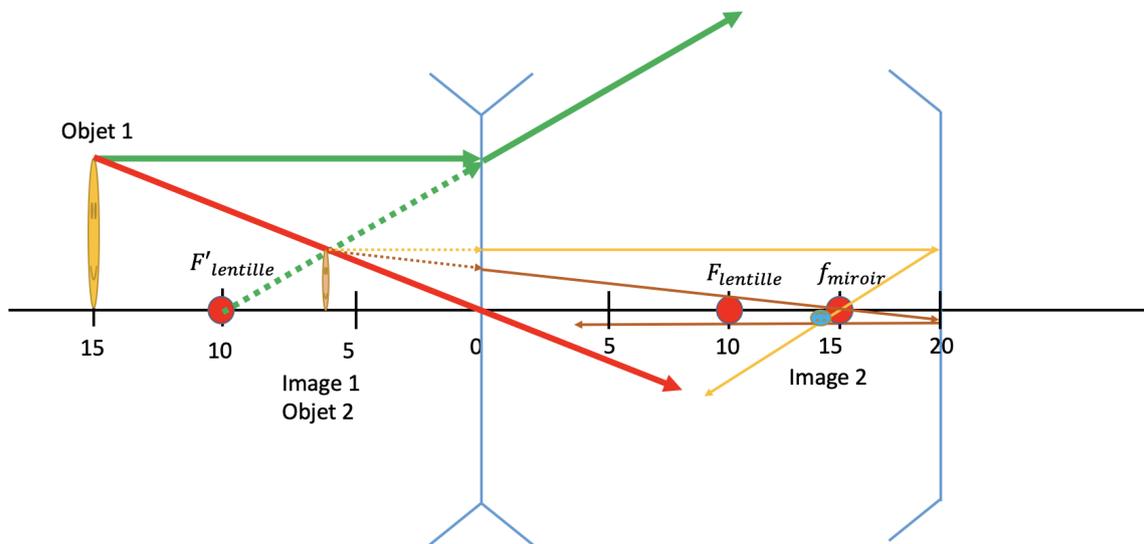


FIGURE 4 – Rayons principaux (2) pour le système lentille-miroir.

2 Choix de Réponse (10 Questions)

Choix de réponse (10 points). Choisissez la réponse qui est la plus exacte.

*Vous n'avez **pas** besoin de justifier votre réponse.*

5. (10 points) Choix de réponse. Choisissez la (les) réponse(s) juste(s).

*Vous n'avez **pas** besoin de justifier votre réponse.*

(a) (1 Point) La lumière est une onde électromagnétique :

Vrai;

Faux;

Il manque d'informations.

(b) (1 Point) Lorsqu'un rayon de lumière est incident sur un interface, une partie du rayon est réfléchi, une partie est réfractée (et une partie est/serait atténuée) :

Vrai;

Faux;

Il manque d'informations.

(c) (1 Point) Pour la lumière, il est équivalent de parler de longueur d'onde λ , de fréquence f ou d'énergie E :

Vrai;

Faux;

Il manque d'informations.

(d) (1 Point) Pour un miroir, si les rayons de la source arrivent de la gauche, une image virtuelle apparaîtrait à droite :

Vrai;

Faux;

Il manque d'informations.

(e) (1 Point) Pour une lentille, si les rayons de la source arrivent de la gauche, une image virtuelle apparaîtrait à droite :

Vrai;

Faux;

Il manque d'informations.

(f) (1 Point) Si le grossissement d'un miroir est nul ($= 0$), alors l'image produite a une position nulle :

Vrai;

Faux;

Il manque d'informations.

- (g) (1 Point) Avec un montage judicieux de miroirs et/ou de lentilles, il est possible de créer une image virtuelle :
- Vrai**;
 - Faux;
 - Il manque d'informations.
- (h) (1 Point) Avec un montage judicieux de miroirs et/ou de lentilles, il est possible d'avoir un objet virtuel :
- Vrai**;
 - Faux;
 - Il manque d'informations.
- (i) (1 Point) La longueur focale d'une lentille dépend de la position de l'objet et de l'image :
- Vrai;
 - Faux**;
 - Il manque d'informations.
- (j) (1 Point) Un objet virtuel n'existe pas vraiment. Il ne s'agit que d'une construction de physiciens dans notre tête (et dans nos cœurs) :
- Vrai;
 - Faux**;
 - Il manque d'informations.

3 Questions à Court Développement (5 Questions)

6. (5 Points) Le Principe de Huygens stipule que :

Chaque point d'un front d'onde agit comme une source, produisant des ondelettes. La somme de ces ondelettes déterminent le futur de l'onde.

Décrivez brièvement ce que cela signifie, en utilisant au besoin des schémas. Donnez un contexte d'application du principe de Huygens (avec une quantité raisonnable de détails).

Lösung: Distribution des points : 2 pts pour la description du phénomène, 2 pts pour l'application et 1 pt pour la cohérence.

Le Principe de Huygens permet de considérer chaque point le long d'un front d'onde comme une source. En d'autres mots, il est possible d'oublier le passé de l'onde et de ne considérer que chacun de ces points comme une nouvelle source, moins puissantes, créant ces petites ondes, ou ondelettes. La superposition de ces ondelettes permet de voir le futur de l'onde.

Un exemple d'application est pour la conversion de l'image d'une lentille ou d'un miroir en objet pour la lentille ou le miroir suivant. L'image est le point où converge les rayons; de cet endroit, les futurs rayons vont diverger, agissant comme un objet. De par le Principe de Huygens, cela est suffisant pour ne considérer que ce nouvel objet comme la source, en pouvant maintenant écarter ce qui s'est passé avant.

7. (5 Points) Décrivez brièvement ce qu'est le phénomène de la Réflexion Totale Interne (RTI). Prenez le temps de décrire chacun des mots de l'expression. Donnez également les conditions nécessaires pour qu'elle survienne. Votre réponse peut utiliser ou non des équations.

Lösung: Distribution des points : 1 pt par mot (Réflexion, Totale, Interne), 1 pt pour une idée brève et 1 pt pour au moins une condition.

La RTI correspond au phénomène où la lumière ne peut pas sortir d'un milieu, à cause de la différence d'indice de réfraction. Pour avoir une chance de survenir, il faut que $n_1 > n_2$, i.e. que la lumière aille vers un milieu moins réfractant et que l'angle d'incidence soit plus grand qu'un angle critique.

- (a) **Réflexion** : Lors d'un changement de milieu, une partie du faisceau est réfléchi et une partie est réfractée.
 - (b) **Totale** : Il n'y a pas de partie transmise, 100% (la totalité) du faisceau est réfléchi.
 - (c) **Interne** : Le faisceau reste pris dans le milieu, ne pouvant pas sortir.
-

8. (3 Points) Décrivez brièvement la différence entre une image réelle et virtuelle (pour une lentille ou un miroir).

Lösung: Distribution des points : 1 pt pour chaque et 1 pt pour la globalité. Une image réelle est une image pouvant être projetée sur un écran. Une image virtuelle est une image vivant dans le monde du miroir, soit de l'autre côté. Cet univers n'est pas accessible, mais peut être vu.

9. (2 Points) Décrivez brièvement comment il serait possible d'obtenir un objet virtuel.

Lösung: Distribution des points : 1 pt pour parler d'un montage et 1 pt pour la technique plus spécifique. Il est possible de créer un objet virtuel en utilisant un système de plusieurs miroirs ou lentilles. Le truc est de créer une image à partir d'un miroir ou d'une lentille et que cette image tombe du côté virtuel de la lentille ou du miroir suivant. De cette façon, l'objet suivant (qui sera l'image précédente, par le principe de Huygens) sera virtuel, étant du «mauvais» côté du miroir ou de la lentille.

10. (2 Points Boni) Donnez l'étymologie du terme *vergence*.
En d'autres mots, donnez la langue d'origine de ce terme et la signification du mot lui-même.

Lösung: Distribution des points : 1 pt pour la langue, 1 pt pour le sens du mot. Le terme *vergence* vient du latin, du verbe *vergo*, -are, -avi, -atus, signifiant «plier, tourner».

4 Équations Pertinentes

1.a	Mouvement Harmonique Simple	Position	$x(t) = A \sin(\omega t + \phi)$
1.b	Mouvement Harmonique Simple	Vitesse	$v(t) = A\omega \cos(\omega t + \phi)$
1.c	Mouvement Harmonique Simple	Accélération	$a(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \phi)$
1.d	Mouvement Harmonique Simple	Équation Différentielle	$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$
2.	Période		$T = \frac{2\pi}{\omega}$
3.	Fréquence		$f = \frac{1}{T}$
4.a	Fréquence Angulaire	Masse-Ressort	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
4.b	Fréquence Angulaire	Pendule	$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$
5	Onde progressive sinusoïdale		$y(x, t) = A \sin(kx \mp \omega t + \phi)$
6	Vitesse de Propagation		$v = \sqrt{\frac{E}{\mu}}$
7.a	Densité	Linéique	$\mu = \frac{m}{L}$
7.b	Densité	Surfacique	$\sigma = \frac{m}{A}$
7.c	Densité	Volumique	$\rho = \frac{m}{V}$
8	Vitesse de Propagation		$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} = \lambda f$
9	Fréquence Angulaire		$\omega = \frac{2\pi}{T}$
10	Nombre d'Onde		$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
11	Onde Stationnaire		$y(x, t) = A \sin(kx) \cos(\omega t)$
12.a	Onde Résonante	Longueur d'onde	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$
12.b	Onde Résonante	Fréquence	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$
13	Température		$T_K = T_C + 273.15$
14.a	Vitesse du Son	Air K	$v_{\text{son}} \approx 20\sqrt{T_K}$
14.b	Vitesse du Son	Air C	$v_{\text{son}} \approx 331\sqrt{1 + \frac{T_C}{273.15}}$
14.c	Vitesse du Son	Fluide	$v_{\text{son}} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$
15.a	Intensité		$I = \frac{P}{A}$
15.b	Intensité		$I = \frac{P}{4\pi r^2}$
16	Décibels		$\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$
17.a	Onde Résonante	Tuyau Ouvert	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$

17.b	Onde Résonante	Tuyau Ouvert	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}$
17.c	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$\lambda_m = \frac{4L}{m}, \quad m \in \{1, 3, 5, \dots\}$
17.d	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$f_m = \frac{mv}{4L}, \quad m \in \{1, 3, 5, \dots\}$
18	Fréquence de Battement		$f_{\text{bat}} = f_1 - f_2 $
19	Effet Doppler		$f' = \left(\frac{v_{\text{son}} \pm v_{\text{obs}}}{v_{\text{son}} \mp v_{\text{source}}} \right) f$
20	Indice de Réfraction		$n_x = c/v_x$
21	Longueur d'onde dans un milieu		$\lambda_x = \lambda_0/n_x$
22	Loi de la Réflexion		$\theta_{\text{incident}} = \theta_{\text{réfléchi}}$
23	Loi de la Réfraction		$n_1 \sin(\theta_{\text{incident}}) = n_2 \sin(\theta_{\text{réfracté}})$
24	Angle Critique		$\theta_c = \arcsin(n_2/n_1)$
25	Rayon de Courbure		$R = 2f$
26	Loi des Miroirs		$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$
27	Grossissement Miroirs		$G = \frac{-q}{p} = \frac{y_i}{y_o} = \frac{h_i}{h_o}$
28	Vergence		$V = \frac{1}{f}$
29	Loi des Lentilles Minces		$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$
30	Grossissement Transversal		$m = \frac{-q}{p} = \frac{y_i}{y_o} = \frac{h_i}{h_o}$
31	Grossissement Angulaire		$G = \frac{\beta}{\alpha}$
32	Amplitude d'Accommodation		$\Delta V_{\text{acc}} = V_{\text{max}} - V_{\text{min}}$
33	Identités Trigonométriques		$\cos(A) = \sin(A + \pi/2)$
34			$\sin^2(A) + \cos^2(A) = 1$
35			$1 + \tan^2(A) = \sec^2(A)$
36			$1 + \cot^2(A) = \csc^2(A)$
37	Somme		$\sin(A) + \sin(B) = 2 \sin\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$
38			$\cos(A) + \cos(B) = 2 \cos\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$
39	Symétrie		$\cos(-A) = \cos(A)$
40	AntiSymétrie		$\sin(-A) = -\sin(A)$
41	Somme		$\sin(A + B) = \sin(A) \cos(B) + \cos(A) \sin(B)$
42			$\sin(A - B) = \sin(A) \cos(B) - \cos(A) \sin(B)$
43	Inverse		$\cos(\arcsin(x)) = \sin(\arccos(x)) = \sqrt{1 - x^2}$

COLLÈGE LIONEL-GROULX – DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

SIGLE DU COURS : NYC

NOM DU CHARGÉ DE COURS : Philippe Laporte

TITRE DU COURS : Ondes, Optiques et Physique Moderne

Question	Points	Bonus Points	Score
1	15	0	
2	10	1	
3	20	0	
4	30	0	
5	10	0	
6	5	0	
7	5	0	
8	3	0	
9	2	0	
10	0	2	
Total:	100	3	

SIGNATURES:

LE CHARGÉ DE COURS _____
