COLLÈGE LIONEL-GROULX – DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

SIGLE DU COURS : NYC Formatif 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 (+4) points, a 9 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. (20 points) Considérons un objet émettant de la lumière placé sur une table et un écran placé à 5 m. Supposons que nous avons une lentille convergente de longueur focale de 10 cm.
   (a) (8 Points) Où doit-on placer la lentille pour obtenir une image nette sur l'écran ? Vous devez justifier chaque signe.

   (b) (3 Points) Faites un schéma représentant, avec au moins deux rayons principaux.
   (c) (4 Points) Déterminez la taille de l'objet, si l'image a une taille de 50 cm.
   (d) (5 Points) Si un observateur est à 30 cm de l'écran, quel grossissement angulaire perçoit-il ? Ce montage est-il pertinent pour mieux voir un objet ?

Lösung:

(a) **Distribution des Points** : 1 pt pour f, 1 pt pour l'autre équation. 1 pt pour la formule des lentilles, 1 pt pour la substitution. 1 pt pour se rendre à l'équation de degré 2, 1 pts pour la résoudre. 1 pt pour les réponses (1) et 1 pt pour justifier que les deux sont bonnes.
Ici, $f = +10$ cm (lentille convergente) et $p + q = 500$ cm. Nous voulons que p et q soient réels (donc positifs).
Alors,

$$\begin{aligned}
\frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \\
\frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{500 - p} \\
\frac{1}{f} &= \frac{(500 - p) + p}{p(500 - p)} \\
\frac{1}{f} &= \frac{500}{p(500 - p)} \\
p(500 - p) &= 500f \\
0 &= p^2 - 500p + 500f
\end{aligned}$$

Avec la formule quadratique,

$$\begin{aligned}
\Delta &= b^2 - 4ac \\
&= (-500)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 500f \\
&= 250\ 000 - 2000f^2 \\
&= 250\ 000 - 2000 \cdot 10^2 \\
&= 230\ 000
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow p_{\pm} &= \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} \\
&= \frac{500 + \pm\sqrt{230\ 000}}{2} \\
&\approx 250 \pm \frac{479.58}{2} \\
&\in \{10.20, 489.80\}
\end{aligned}$$

Ici, les deux réponses sont bonnes. p_1 et p_2 sont plus grands que la distance focale, alors l'image sera réelle.

(b) **Distribution des Points** : 2 pts pour le premier schéma, 1 pt pour le deuxième.

(c) **Distribution des Points** : 1 pt pour chaque grossissement transversal, 1 pt pour chaque hauteur objet.
$h_i = 50$ cm (je choisis une image vers le bas, à cause du schéma en (b)).
Il faut considérer les deux cas individuellement :
Si $p_1 = 10.80$ cm, alors $q_1 = 489.20$ cm. À ce moment, $m_1 = -q_1/p_1 = -10.80/489.20 \approx -0.022$.
Donc, $h_{0,1} = h_i/m_1 = +50/0.022 \approx +2\ 264$ cm (image vers le haut).
Si $p_2 = 489.80$ cm, alors $q_2 = 10.20$ cm. À ce moment, $m_2 = -q_2/p_2 = -489.80/10.20 \approx -43.73$.
Donc, $h_{0,2} = h_i/m_2 = 50/43.73 \approx +1.14$ cm (image vers le haut).

(d) **Distribution des Points** : 1 pt pour chaque taille angulaire (4 pts, objet, image, 1, 2), 1 pt pour une conclusion.
La taille angulaire de chaque objet est donnée par un triangle : $\alpha_i = \arctan(h/d)$
Pour p_1 :

$$\alpha_1 = \arctan(h/d) = \arctan(2\ 264/70) \approx 88.22^o$$

$$\beta_1 = \arctan(h/d) = \arctan(50/30) \approx 59.04^o$$

$$G_1 = \beta_1/\alpha_1 = 59.04^o/88.22^o \approx 0.669$$

Pour p_2 :

$$\alpha_2 = \arctan(h/d) = \arctan(1.14/70) \approx 0.93^o$$

$$\beta_2 = \arctan(h/d) = \arctan(50/30) \approx 59.04^o$$

$$G_2 = \beta_2/\alpha_2 = 59.04^o/0.93^o \approx 63.28$$

Le deuxième montage (avec la lentille très près de l'écran), permet de grossir de beaucoup un objet et de mieux le voir.

2. (15 points) Considérons un miroir convexe de longueur focale f.
   (a) (6 Points) Prouvez qu'il est impossible de créer une image réelle à partir d'un objet réel. Justifiez chaque signe utilisé.
   (b) (6 Points) Prouvez qu'il est possible de créer une image réelle à partir d'un objet virtuel. Justifiez chaque signe utilisé.
   (c) (3 Points) De quelle façon pourrions nous utiliser les conclusions de (a) et (b) pour créer une image réelle avec un miroir convexe et un objet réel.

Lösung: Distribution des Points :
Pour toute la question, $f < 0$ (miroir convexe)

(a) Ici, $p > 0$ (objet réel). Alors,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$

Puisque f est négatif et p est positif, $1/f$ est négatif et $1/p$ est positif :

$$\frac{1}{q} < 0$$
$$\Rightarrow q < 0$$

L'image sera donc toujours virtuelle. Il ne sera donc pas possible d'avoir une image réelle.

(b) Ici, $p < 0$ (objet virtuel). Alors,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$$
$$\frac{1}{q} = \frac{p - f}{pf}$$
$$\Rightarrow q = \frac{pf}{p - f}$$

Puisque f est négatif et p est négatif, pf est positif.

$$q < 0 \qquad (\text{Si } p - f < 0 \Leftrightarrow p < f)$$
$$q > 0 \qquad (\text{Si } p - f > 0 \Leftrightarrow p > f)$$
$$\Rightarrow q < 0$$

Il sera donc possible de créer une image réelle, mais seulement si l'objet virtuel est plus loin derrière le miroir que la distance focale. C'est l'analogue pour un miroir convexe du principe, pour un miroir concave, qu'un objet placé plus loin que la distance focale créera une image réelle, mais que si l'objet est entre le miroir et la distance focale, alors l'image sera virtuelle.

(c) Puisqu'un seul miroir convexe et un objet réel ne pourront jamais produire une image virtuelle (a), il faudra trouver une façon de créer un objet virtuel. Cela pourrait être accompli avec un système à plusieurs miroirs ou avec une lentille. Si on prend un objet réel, qui crée, grâce à une lentille convergente, une image derrière le miroir convexe, alors l'objet sera virtuel et cela pourrait mener, dans les bonnes conditions, à une image réelle.

3. (20 points) Considérez le prisme de la figure 1. Si le prisme est construit en verre ($n_{\text{verre}} = 1.50$) et est immergé dans l'eau ($n_{\text{eau}} = 1.33$) :
   (a) (10 Points) déterminez la trajectoire complète du faisceau de lumière (supposez que $\alpha = 30^o$, $\phi = 40^o$) ;
   (b) (2 Points) Faites un schéma complet de la trajectoire du rayon (supposez que $\alpha = 30^o$, $\phi = 40^o$) ;
   (c) (8 Points) De manière générale (sans valeur de ϕ, mais avec $\alpha = 30^o$), déterminez une relation pour l'angle initial ϕ pour qu'il y ait une réflexion totale interne sur la face opposée à l'angle γ.
   Note : Cette partie (c) (et d, par extension) est la plus difficile de l'examen. Le degré de difficulté est beaucoup plus grand qu'il ne semble. Je vous suggère de finir par cette question, si vous avez le temps.
   (d) (2 Points Boni) Faites la partie (c) mais avec α, n_1 et n_2 sous forme de variables (sans chiffres).

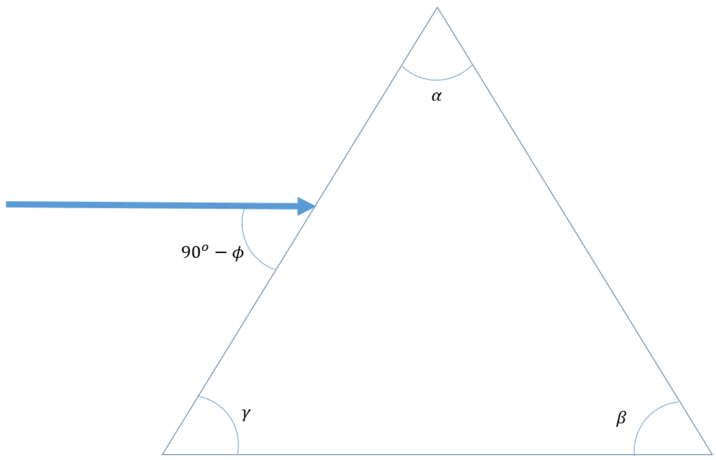

Figure 1 – Prisme pour la question 3 (rien n'est à l'échelle)

Lösung:

(a) Au premier interface, le rayon sera réfracté :

$$n_{\text{eau}} \sin(\phi) = n_{\text{verre}} \sin(\theta_{\text{in}})$$

$$\Rightarrow \theta_{\text{in}} = \arcsin\left(\frac{n_{\text{eau}} \sin(\phi)}{n_{\text{verre}}}\right) = \arcsin\left(\frac{1.33 \sin(40^o)}{1.50}\right) \approx 34.75^o$$

Par la suite, il faut obtenir l'angle θ_2 frappant l'autre côté du prisme. Par analyse géométrique, cet angle sera de

$$\theta_2 = \theta_{\text{in}} - \alpha \approx 4.75^o$$

Finalement, pour l'angle ressortant :

$$n_{\text{eau}} \sin(\theta_{\text{out}}) = n_{\text{verre}} \sin(\theta_2)$$
$$\Rightarrow \theta_{\text{out}} = \arcsin\left(\frac{n_{\text{verre}} \sin(\theta_2)}{n_{\text{eau}}}\right) = \arcsin\left(\frac{1.50 \sin(4.75)}{1.33}\right) \approx 5.35^{\text{o}}$$

(b) X

(c) Pour une RTI, il faudra que l'angle $\theta_2 \geq \theta_c$. Ici, l'angle critique est

$$\begin{aligned}
\theta_2 &\geq \theta_c \\
\theta_{\text{in}} - \alpha &\geq \theta_c \\
\theta_{\text{in}} &\geq \theta_c + \alpha \\
\arcsin\left(\frac{n_{\text{eau}} \sin(\phi)}{n_{\text{verre}}}\right) &\geq \arcsin\left(\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}}\right) + \alpha \\
\left(\frac{n_{\text{eau}} \sin(\phi)}{n_{\text{verre}}}\right) &\geq \sin\left[\arcsin\left(\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}}\right) + \alpha\right]
\end{aligned}$$

Ici, nous utiliserons la propriété $\sin(a+b) = \sin(a)\cos(b) + \cos(a)\sin(b)$, avec $a = \arcsin\left(\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}}\right)$ et $b = \alpha$:

$$\left(\frac{n_{\text{eau}} \sin(\phi)}{n_{\text{verre}}}\right) \geq \sin\left[\arcsin\left(\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}}\right)\right] \cos\alpha + \cos\left[\arcsin\left(\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}}\right)\right] \sin\alpha$$

Avec la relation $\cos\arcsin(x) = \sqrt{1-x^2}$:

$$\begin{aligned}
\left(\frac{n_{\text{eau}} \sin(\phi)}{n_{\text{verre}}}\right) &\geq \frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}} \cos\alpha + \sqrt{1 - \left(\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}}\right)^2} \sin\alpha \\
\sin(\phi) &\geq \cos\alpha + \frac{n_{\text{verre}}}{n_{\text{eau}}}\sqrt{1 - \left(\frac{n_{\text{eau}}}{n_{\text{verre}}}\right)^2} \sin\alpha \\
\sin(\phi) &\geq \cos\alpha + \sqrt{\left(\frac{n_{\text{verre}}}{n_{\text{eau}}}\right)^2 - 1} \sin\alpha \\
\phi &\geq \arcsin\left\{\cos\alpha + \sqrt{\left(\frac{n_{\text{verre}}}{n_{\text{eau}}}\right)^2 - 1} \sin\alpha\right\} \\
\phi &\geq \arcsin\left\{\cos 30^{\text{o}} + \sqrt{\left(\frac{1.50}{1.33}\right)^2 - 1} \sin 30^{\text{o}}\right\} \approx \arcsin(1.13)
\end{aligned}$$

Peu importe l'angle initial, il n'est pas possible d'avoir de RTI.

4. (20 points) Le criquet, Grasshüpfer, est hypermétrope. Il aura besoin de lentilles correctrices. De proche, il peut voir jusqu'à 2 cm devant lui. Pour un oeil hypermétrope, on dit que son *Punctum Remotum* est négatif (pour qu'il arrive au bon endroit).
   (a) (2 Points) De quel type de lentille correctrice a-t-il besoin ?
   (b) (4 Points) Quel est le problème avec un oeil hypermétrope ? Comment la lentille arrive-t-elle à corriger ce problème ?
   (c) (4 Points) Faites un schéma de la vision de l'oeil et de l'endroit où l'image est formée. Faites un schéma aussi avec la lentille correctrice.
   (d) (2 Points) Que signifie, de façon générale, le terme *Punctum Remotum* ? Pourquoi ici serait-il négatif ?
   (e) (6 Points) Si la longueur focale de ses lentilles correctrices est de 10 cm, jusqu'à quelle distance pourra-t-il voir adéquatement maintenant ?
   (f) (2 Points) Que peut-on conclure avec la réponse de la partie précédente ?

Lösung:

(a) **Distribution des Points** : 2 pts pour la réponse.
Lentilles concaves.

(b) **Distribution des Points** : 1 pt pour mentionner l'image qui n'est pas formée sur la rétine, 1 pt pour dire derrière, 1 pt pour les lentilles et 1 pt pour dire que ça converge plus vite.
Pour un oeil hypermétrope, un objet situé à l'infini créera une image derrière la rétine et pas dessus. L'image perçue sera donc floue. Il faudra donc faire converger les rayons de lumière plus rapidement et les faire tomber directement sur la rétine. Pour cette raison, il faudra des lentilles divergentes, permettant de créer l'image plus tôt.

(c) **Distribution des Points** : 2 pts par schéma, dont 1 pour le bon emplacement de formation de l'image.

(d) **Distribution des Points** : 1 pt pour PR, 1 pt pour un raisonnement vaguement cohérent.
Il s'agit du point de vision le plus loin. Normalement, pour un oeil idéal, le PR est à l'infini.
Dans le contexte d'un oeil hypermétrope, le PR sera négatif, pour indiquer qu'un objet à l'infini (causant des rayons parallèles) créera une image derrière la rétine. Il faudrait que les rayons arrivent déjà convergents pour tomber au bon endroit. Cela donnerait l'impression que l'objet sera plus loin qu'à l'infini.

(e) **Distribution des Points** : 2 pts par schéma, dont 1 pour le bon emplacement de formation de l'image.
Puisqu'il s'agit de lentilles convergentes, $f = +10$ cm.

Pour voir un objet clairement, il faudra que l'image apparaisse à 2 cm. La lentille devra donc produire une image virtuelle ($q = -2$ cm). Ainsi,

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \\ \Rightarrow \frac{1}{p} &= \frac{1}{f} - \frac{1}{q} \\ &= \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \\ &= \frac{1+5}{10} \\ &= \frac{6}{10} \\ \Rightarrow p &= \frac{5}{3} \approx 1.67 \text{ cm} \end{aligned}$$

(f) **Distribution des Points** : 1 pt pour dire que le PP se rapproche, 1 pt pour un raisonnement vaguement cohérent.
Le PP a diminué. Cela signifie donc qu'il pourra voir de plus près !

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) Les angles utilisés en optique géométrique se calcul par rapport à la surface d'intérêt :

- ☐ Vrai ;
- ☑ **Faux ;**
- ☐ Il manque d'informations.

(b) (1 Point) Lorsqu'un rayon de lumière est incident sur un interface et passe dans un milieu où l'indice de réfraction est plus grand, la partie réfléchie subit une réflexion molle :

- ☑ **Vrai ;**
- ☐ Faux ;
- ☐ Il manque d'informations.

(c) (1 Point) Lorsqu'on parle de la lumière, on ne parle que de la lumière visible (rouge, bleu, mauve, etc.) :

- ☐ Vrai ;
- ☑ **Faux ;**
- ☐ Il manque d'informations.

(d) (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.

(e) (1 Point) Pour une lentille, si les rayons de la source arrivent de la gauche, le foyer objet est à gauche et le foyer image est à droite :

- ☐ Vrai ;
- ☑ **Faux ;**
- ☐ Il manque d'informations.

(f) (1 Point) Le grossissement transversal d'une lentille permet de comparer les tailles apparentes (perçues) de l'objet et de l'image :

- ☐ Vrai ;
- ☑ **Faux ;**
- ☐ Il manque d'informations.

(g) (1 Point) Le grossissement angulaire d'une lentille permet de comparer les tailles réelles (mesurées) de l'objet et de l'image :

- ☐ Vrai ;
- ☑ **Faux ;**
- ☐ Il manque d'informations.

(h) (1 Point) La loi des miroirs s'appliquent pour les miroirs sphériques et pour les miroirs plats :

- ☑ **Vrai ;**
- ☐ Faux ;
- ☐ Il manque d'informations.

(i) (1 Point) Pour les miroirs et les lentilles, un objet réel peut créer une image virtuelle :

- ☑ **Vrai ;**
- ☐ Faux ;
- ☐ Il manque d'informations.

(j) (1 Point) Pour les miroirs et les lentilles, un objet virtuel peut créer une image réelle :

- ☑ **Vrai ;**
- ☐ Faux ;
- ☐ Il manque d'informations.

3 Questions à Court Développement (4 Questions)

6. (5 Points) Décrivez brièvement ce qu'est une lentille mince et dans quel contexte le modèle théorique peut ne plus s'appliquer.

Lösung: Distribution des points : 2 pts pour lentille, 2 pts pour certaines propriétés et 1 pt pour le contexte.
Une lentille est un objet transmettant (réfractant) 100% de la lumière. Une lentille possède deux foyers, un foyer objet et un foyer image. Leur position dépend de si nous avons une lentille divergente ou convergente.
Une lentille mince est une lentille dont l'épaisseur d est beaucoup plus petite que le rayon de courbure R, que la distance entre la lentille et l'objet p et que la distance entre la lentille et l'image q. Si ces trois conditions sont respectées, il est raisonnable d'utiliser le modèle des lentilles minces.
Ce modèle est valide dans plusieurs cas, mais ne fonctionne pas toujours. Un exemple est le système Terre-atmosphère-espace. L'atmosphère est «presque» 100% transmettante, mais ne peut pas être considérée pour un observateur au sol comme étant une lentille mince, puisque son épaisseur est trop grande. Si on veut la considérer comme une lentille, il faudra un autre modèle.

7. (5 Points) Décrivez l'utilité des images créées par un objet optique (miroir ou lentille) dans un contexte de vision.

Lösung: Distribution des points : X.
Pour l'oeil (et par l'occurence le cerveau) humain, une image virtuelle est ce qui est vue. En effet, malgré le fait que l'objet réel et physique puisse être à une certaine distance, l'oeil ne peut pas percevoir directement cette distance, puisque l'objet optique vient déranger la trajectoire initiale des rayons de lumière. De cette façon, l'oeil aura l'impression que les rayons de lumière proviennent d'un autre endroit, qui sera l'image créée par l'objet optique. Par le Principe de Huygens, cette image devient l'objet «réel» qui est perçu par l'oeil. L'oeil aura donc l'impression que l'objet sera à une autre position, avec sa taille associée, qui sont reliées, mais pas les mêmes, que pour l'objet réel initial.

8. (5 Points) Décrivez brièvement les différences entre un oeil myope et un oeil hypermétrope. Expliquez brièvement comment corriger chacun de ces problèmes.

Lösung: Distribution des points : 2 pts pour mentionner le point focal au mauvais endroit, 1 pt pour l'emplacement pour chaque et 2 pts pour l'explication des lentille.
Dans un oeil idéal, le cristallin permet de créer une image sur la rétine. Dans un oeil myope ou hypermétrope, l'image est créée au mauvais endroit, à cause d'une longueur focale non adaptée à l'oeil.
Pour l'oeil myope, l'image est créée devant la rétine, causant un flou.
Pour l'oeil hypermétrope, l'image est créée derrière la rétine, causant un flou.
Pour corriger ces problèmes, une lentille (lunettes ou verres de contact) peut être ajoutée à l'oeil, pour permettre à l'image d'être créée au bon endroit. Pour l'oeil myope, on utilise une lentille divergente pour éloigner l'image et, pour l'oeil hypermétrope, on utilise une lentille convergente, pour ramener vers l'avant l'image.

9. (2 Points Boni) Donnez l'origine étymologique du terme *refraction*.

Lösung: Distribution des points : 1 pt pour la langue, 1 pt pour le sens du mot.
Le terme provient du latin, à partir du terme fractus (adjectif), signifiant une coupure ou brisure. Dans le cas de rayons lumineux, cela se voit par un bris de la trajectoire rectilinéaire.

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	Vitess de Propagation		$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$
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	Vitess 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	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1,2,3,\ldots\}$
12.b	Onde Résonante	Fréquence	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1,2,3,\ldots\}$
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	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1,2,3,\ldots\}$

17.b	Onde Résonante	Tuyau Ouvert	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1, 2, 3, \ldots\}$
17.c	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$\lambda_m = \frac{4L}{m}, \quad m \in \{1, 3, 5, \ldots\}$
17.d	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$f_m = \frac{mv}{4L}, \quad m \in \{1, 3, 5, \ldots\}$
18	Fréquence de Battement		$f_{\text{bat}} = \lvert f_1 - f_2 \rvert$
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		$G = \frac{-q}{p} = \frac{y_i}{y_0} = \frac{h_i}{h_0}$
28	Vergence		$V = \frac{1}{f}$
29	Loi des Lentilles Minces		$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$
30	Grossissement Transversal		$m = \frac{-q}{p} = \frac{y_i}{y_0} = \frac{h_i}{h_0}$
31	Grossissement Angulaire		$G = \frac{\beta}{\alpha}$
32	Amplitude d'Accomodation		$\Delta V_{\text{acc}} = V_{\text{max}} - V_{\text{min}}$
33	Identités Trigonométriques	Déphasage	$\cos(A) = \sin(A + \pi/2)$
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	$\cos(\arcsin(x)) = \sin(\arccos(x)) = \sqrt{1 - x^2}$

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

SIGNATURES: LE CHARGÉ DE COURS ____________________________