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 - FORMATIF

☐ EXAMEN INTRA
☐ EXAMEN FINAL
☐ EXAMEN DIFFÉRÉ
☒ EXAMEN FORMATIF

DATE : 7 octobre 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 (+6) points, a 18 questions et compte pour 20% de la note finale.
Il y a un total de 15 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 considéré comme du plagiat et entraînera les sanctions académiques et disciplinaires pertinentes.

---

1 Questions à Développement (4 Questions)

1. Considérons un système bloc-ressort. Supposons que le bloc ait une masse de 10 kg et que le ressort (sans masse) ait une constante de rappel de 40 N/m. À un certain moment, le bloc est tiré de l'origine et amené à la position $x = 10$ cm. Si à l'instant $t = 1$ seconde, le bloc est à la position $x = 5$ cm et a une vitesse négative, déterminez :
   (a) (1 Point) De quel type de mouvement il s'agit ;
   (b) (1 Point) L'amplitude de ce mouvement ;
   (c) (2 Points) La fréquence angulaire de ce mouvement ;
   (d) (2 Points) La période de ce mouvement ;
   (e) (2 Points) La fréquence de ce mouvement ;
   (f) (4 Points) La constante de phase de ce mouvement ;
   (g) (1 Point) L'équation globale pour la position de ce mouvement ;
   (h) (1 Point) L'équation globale pour la vitesse de ce mouvement ;
   (i) (1 Point) L'équation globale pour l'accélération de ce mouvement ;
   (j) (2 Points) La relation entre la position et l'accélération (*Indice :* vérifiez que cela satisfasse l'équation différentielle appropriée) ;
   (k) (3 Points) La position et l'accélération à $t = 10s$. Que pouvez-vous conclure à l'aide de la partie (j) ?
   (l) (2 Points Boni) Déterminez d'autres équations pour les équations trouvées en (g) et en (i) et faite la même vérification qu'en (j).
   Indice : Pensez au minitest #2 !

Lösung:

(a) Mouvement Harmonique Simple (MHS) ;

(b) $A = 0.1m$

(c) $\omega = \sqrt{k/m} = \sqrt{10/40} = \sqrt{1/4} = 1/2 = 0.5s^{-1}$

(d) $T = 2\pi/\omega = \frac{2\pi}{1/2} = 4\pi \approx 12.6$ s.

(e) $f = 1/T = \frac{1}{4\pi} \approx 0.080\ \text{s}^{-1}$

(f) $0.05 = 0.1 \sin(0.5 + \phi) \Rightarrow \sin(0.5 + \phi) = 1/2$
$\Rightarrow 0.5 + \phi = \arcsin(1/2) \in \{\pi/6, 5\pi/6\}$
Puisque la vitesse est négative, il faut que $\cos(1/2) < 0$. Cela est vrai pour $5\pi/6$.
$\Rightarrow 0.5 + \phi = 5\pi/6 \Rightarrow \phi = 5\pi/6 - 0.5 \approx 2.12$

(g) $x(t) = \frac{1}{10} \sin\left(\frac{1}{2}t + 2.12\right)$

(h) $v(t) = \frac{1}{20} \cos\left(\frac{1}{2}t + 2.12\right)$

(i) $a(t) = -\frac{1}{40} \sin\left(\frac{1}{2}t + 2.12\right)$

(j) $a(t) = -\left(\frac{1}{2}\right)^2 x$. Il s'agit de l'équation différentielle pour le mouvement harmonique simple.

(k) $x(10) = \frac{1}{10}\sin(0.5 \cdot 10 + 2.12) \approx 0.0743$
$a(10) = -\frac{1}{40}\sin(0.5 \cdot 10 + 2.12) \approx -0.0186$
$-\omega^2 x(10) = -0.25 \cdot 0.0743 = -0.0186 = a(10)$
L'équation différentielle est respectée.

(l) Le déphasage sera de $\pi/2$: $x(t) = \frac{1}{10}\cos\left(\frac{1}{2}t + 2.12 - \pi/2\right) = \frac{1}{10}\cos\left(\frac{1}{2}t + 0.55\right)$
$v(t) = -\frac{1}{20}\sin\left(\frac{1}{2}t + 0.55\right)$
$a(t) = -\frac{1}{40}\cos\left(\frac{1}{2}t + 0.55\right)$
Encore une fois, $-\omega^2 x = a$. Que ce soit avec un sinus ou un cosinus, nous avons un mouvement harmonique simple.

2. Les chauve-souris se déplacent par écho-location. Elles utilisent des fréquences sonores pour se localiser dans l'espace. Le son émis se propage dans l'espace et se rend jusqu'à un obstacle avant de revenir. La chauve-souris peut estimer la position de l'objet avec le son qui lui revient.
   Une chauve-souris moyenne émet des fréquences de 100 kHz. Considérons un insecte volant à une vitesse de 5 m/s. Supposez que la vitesse du son est 340 m/s.
   Note : Pour chacune des questions suivantes, la réponse seule ne vaudra rien. Vous devez justifier votre démarche. *Caveat Calculator* !
   (a) (2 Points) Faites un schéma illustrant la situation où l'insecte s'enfuit de la chauve-souris, si celle-ci est immobile, pendue à un plafond.
   (b) (2 Points) Faites un schéma illustrant la situation où l'insecte s'approche de la chauve-souris, si celle-ci est immobile, pendue à un plafond.
   (c) (5 Points) Déterminez la fréquence du son se rendant à l'insecte si celui-ci s'enfuit de la chauve-souris qui est pendue immobile à un plafond.
   (d) (5 Points) Déterminez la fréquence du son revenant à la chauve-souris si l'insecte s'enfuit de la chauve-souris qui est pendue immobile à un plafond.
   (e) (5 Points) Déterminez la fréquence du son se rendant à l'insecte si celui-ci vole vers la chauve-souris qui est pendue immobile à un plafond.
   (f) (5 Points) Déterminez la fréquence du son revenant à la chauve-souris si l'insecte vole vers la chauve-souris qui est pendue immobile à un plafond.
   (g) (1 Point) Donnez une hypothèse quant à la capacité de la chauve-souris de connaître la direction du mouvement de l'insecte.

Lösung: Distribution des Points : 1 pt pour l'identification de l'observateur et de la source, 1 pt pour chaque signe (2 total), 1 pt pour l'explication de chaque signe (2 total) et 1 pt pour le calcul.
Pour toutes ces questions, nous utiliserons la formule de l'effet Doppler : $f' = \left(\frac{v_{son} \pm v_{obs}}{v_{son} \mp v_{source}}\right) f$. De plus, la fréquence initiale sera 100 kHz $= 100 \cdot 10^3 = 10^5$ Hz.

(a) X

(b) X

(c) Ici, l'observateur est l'insecte et la source est la chauve-souris (v = 0). Puisque l'observateur s'éloigne de la source, on utilisera le signe - au numérateur :

$$f' = \left(\frac{v_{son} - v_{obs}}{v_{son}}\right) f = \left(\frac{340 - 5}{340}\right) 10^5 \approx 98529 \text{ Hz}$$

(d) Maintenant, la source est l'insecte (par réflexion) et l'observateur est la chauve-souris (v = 0). Puisque la source s'éloigne de l'observateur, on utilisera le signe + au dénominateur :

$$f'' = \left(\frac{v_{son}}{v_{son} + v_{source}}\right) f = \left(\frac{340}{340 + 5}\right) f' \approx 97101 \text{ Hz}$$

(e) Ici, l'observateur est l'insecte et la source est la chauve-souris (v = 0). Puisque l'observateur s'approche de la source, on utilisera le signe + au numérateur :

$$f' = \left(\frac{v_{\text{son}} + v_{\text{obs}}}{v_{\text{son}}}\right) f = \left(\frac{340 + 5}{340}\right) 10^5 \approx 101470 \text{ Hz}$$

(f) Maintenant, la source est l'insecte (par réflexion) et l'observateur est la chauve-souris (v = 0). Puisque la source se rapproche de l'observateur, on utilisera le signe - au dénominateur :

$$f'' = \left(\frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} - v_{\text{source}}}\right) f = \left(\frac{340}{340 - 5}\right) f' \approx 102985 \text{ Hz}$$

(g) **Distribution des Points** : 2 pts si la réponse se tient un peu et fait référence (même qualitativement) aux réponse de (d) et (f).
Si la chauve-souris est capable de faire la différence entre ces deux sons, elle pourra déterminer si l'insecte se rapproche ou s'éloigne. Si en plus elle peut savoir la position (grâce au temps d'écho), elle pourra identifier adéquatement la position et la direction du mouvement de l'insecte.

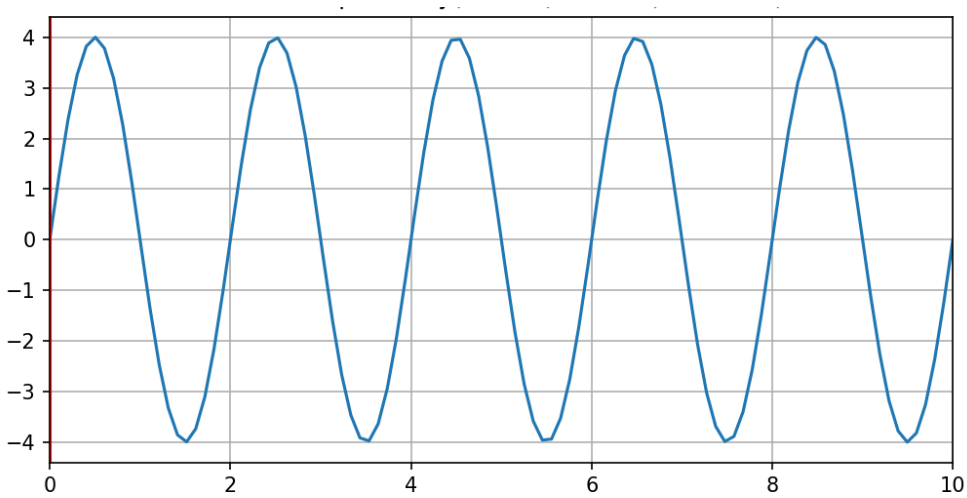

FIGURE 1 – Une onde transversale. L'axe des x représente la position, en mètres, et l'axe des y est le déplacement perpendiculaire à la direction de propagation, en mètres. Cette image/photo est prise à l'instant $t = 0$.

3. Considérez l'onde progressive sinusoïdale présentée à la figure 1. Supposons que la période de cette onde soit de 4 s. et qu'elle se déplace vers la droite (les x positifs).
   (a) (2 Points) Déterminez l'amplitude de cette onde ;
   (b) (2 Points) Déterminez la longueur d'onde de cette onde ;
   (c) (2 Points) Déterminez le nombre d'onde de cette onde ;
   (d) (1 Point) Déterminez la fréquence angulaire de cette onde ;
   (e) (1 Point) Déterminez la fréquence de cette onde ;
   (f) (2 Points) Déterminez la vitesse de propagation de cette onde ;
   (g) (2 Points) Déterminez la constante de phase de cette onde ;
   (h) (2 Points) Déterminez l'équation globale de cette onde.

Lösung:

(a) $A = 4$ m.

(b) $\lambda = 2$ m.

(c) $k = 2\pi/\lambda = \pi \approx 3.1416\ m^{-1}$.

(d) $\omega = 2\pi/T = 2\pi/4 = \pi/2 \approx 1.57$ Hz.

(e) $f = 1/T = 1/4 = 0.25$ Hz.

(f) $v = \lambda/T = 2/4 = 1/2 = 0.5$ m/s.

(g) $y(0,0) = 0 = sin(\phi) \Rightarrow \phi \in \{0, \pi\}$.
Puisque la pente est positive, nous voulons avoir le cosinus positif, ce qui implique que $\phi = 0$.

(h) $y(x,t) = 4\sin\left(\pi x - \frac{\pi}{2}t\right)$.

4. Considérez un tuyau ouvert rempli d'air dont la longueur est de 1 m. Pour cette question, nous supposerons que le tuyau ne subisse pas de dilatation ou expansion thermique.
   (a) (2 Points) Déterminez la longueur d'onde de l'harmonique fondamentale (première harmonique) si la température de l'air est de 10 °C.
   (b) (4 Points) Déterminez la fréquence de l'harmonique fondamentale (première harmonique) si la température de l'air est de 10 °C.
   (c) (2 Points) Déterminez la longueur d'onde de l'harmonique fondamentale (première harmonique) si la température de l'air est de 20 °C.
   (d) (4 Points) Déterminez la fréquence de l'harmonique fondamentale (première harmonique) si la température de l'air est de 20 °C.
   (e) (2 Points) Comparez les réponses de (a) et (c). Que remarquez-vous ? Pourquoi est-ce le cas ?
   (f) (2 Points) Comparez les réponses de (b) et (d), comparativement à celle de (a) et (c). Que remarquez-vous ? Pourquoi est-ce le cas ?
   (g) (5 Points) Quelle température faudrait-il pour que la deuxième harmonique ait la même fréquence que la première à 20 °C ?

Lösung: Pour un tuyau ouvert, les longueurs d'onde des harmoniques sont $\lambda_n = \frac{2L}{n}$ et leur fréquence est $f_n = \frac{nv}{2L}$. Ici, il faut faire attention : v est la vitesse du son ! Pour la vitesse du son, il faudra utiliser une des deux formules pour la vitesse du son dans l'air. Pour simplifier, nous prendrons $v_{\text{son}} = 20\sqrt{T_K}$, pour éliminer le facteur de 20. L'autre formule serait autant valide.
Puisqu'il n'y a pas d'expansion thermique, $L_{10^\circ C} = L_{20^\circ C} = L$.

(a) Ici, $\lambda_1 = 2L/1 = 2L = 2$

(b) La vitesse du son sera $v_{\text{son},10^\circ C} = 20\sqrt{20 + 273.15} \approx 336.54$ m/s.
$\Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L} \approx \frac{342.43}{2} \approx 168.27$ Hz.

(c) Ici, $\lambda_1 = 2L/1 = 2L = 2$

(d) La vitesse du son sera $v_{\text{son},20^\circ C} = 20\sqrt{20 + 273.15} \approx 342.43$ m/s.
$\Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L} \approx \frac{342.43}{2} \approx 171.22$ Hz.

(e) Les longueurs d'onde sont les mêmes. Cela est normal, puisque la température différente n'a pas d'impact sur la longueur et la vitesse n'a pas d'impact sur la longueur d'onde.

(f) Les fréquences sont différentes. Cela est normal, puisque la température différente affecte la vitesse de propagation du son et celle-ci influe sur la fréquence.

(g) Nous voulons $f_{1,20^\circ C} = f_{2,\tau}$, où τ (tau, lettre grecque) est la température que nous cherchons.

$$
\begin{aligned}
f_{1,20^oC} &= f_{2,\tau} \\
\Rightarrow \frac{v_{\text{son},20^oC}}{2L} &= frac2v_{\text{son},\tau}2L \\
\Rightarrow v_{\text{son},20^oC} &= 2v_{\text{son},\tau} \\
\Rightarrow 20\sqrt{20+273.15} &= 2\cdot 20\sqrt{\tau+273.15} \\
\Rightarrow 293.15 &= 4(\tau+273.15) \\
\Rightarrow 4\tau &= 1092.6-293.15 \\
\Rightarrow 4\tau &= 799.45 \\
\Rightarrow \tau &\approx 200^oC
\end{aligned}
$$

Il faudrait une température de 200 °C pour que les deux harmoniques aient la même fréquence... Oof...

2 Choix de Réponse (11 Questions)

Choix de réponse (10 points). Choisissez la réponse qui est la plus exacte.
*Vous n'avez **pas** besoin de justifier votre réponse.*

5. (1 Point) N'importe quel mouvement périodique est un mouvement harmonique simple.
   - ☐ Vrai ;
   - ☑ **Faux.**
6. (1 Point) Si une source sonore est en mouvement et un observateur immobile, il est possible d'avoir un effet Doppler.
   - ☑ **Vrai ;**
   - ☐ Faux.
7. (1 Point) Toute onde peut être modélisée comme une vague sur une corde 1D.
   - ☐ Vrai ;
   - ☑ **Faux.**
8. (1 Point) Le son peut se propager dans le vide.
   - ☐ Vrai ;
   - ☑ **Faux.**
9. (1 Point) Le son est une onde transversale.
   - ☐ Vrai ;
   - ☑ **Faux.**
10. (1 Point) Les fréquences harmoniques des tuyaux sont les mêmes pour les tuyaux ouverts et les tuyaux fermés.
    - ☐ Vrai ;
    - ☑ **Faux.**
11. (1 Point) Les fréquences harmoniques sont les mêmes pour les tuyaux ouverts et les cordes attachées aux deux extrémités.
    - ☑ **Vrai ;**
    - ☐ Faux.

---

12. (1 Point) Si la tension dans une corde est de 100 N et que la vitesse de propagation d'une onde sur cette même corde est de 5 m/s, quelle est la masse linéique de la corde ?
    - ☐ 2 kg/m ;
    - ☐ 3 kg/m ;
    - ☑ **4 kg/m ;**
    - ☐ Il manque d'information.
13. (1 Point) Si une corde mesure 1 mètre, quelle est la longueur d'onde de la première harmonique ?
    - ☐ 1 m ;
    - ☑ **2 m ;**
    - ☐ 3 m ;
    - ☐ Il manque d'information.
14. (1 Point) Si une corde mesure 1 mètre, quelle est la fréquence de la première harmonique ?
    - ☐ 1 m ;
    - ☐ 2 m ;
    - ☐ 3 m ;
    - ☑ **Il manque d'information.**
15. (1 Point Bonus) Toute onde a besoin d'un médium pour se propager.
    - ☐ Vrai ;
    - ☑ **Faux.**

---

3 Questions à Court Développement (3 Questions)

16. (5 Points) Expliquez brièvement la différence entre une onde **transversale** et une onde **longitudinale**.
Donnez un exemple de chacune.

Lösung: **Distribution des points** : 2 pts pour la première explication, 1 pt pour la deuxième et 1 pt par exemple (total de 2).
Pour une onde **transversale**, le mouvement des particules est perpendiculaire (90 degrés) par rapport à la direction de propagation.
Pour une onde **longitudinale**, le mouvement des particules se fait le long de la direction de propagation.
La lumière ou les ondes sur une corde sont des exemples d'onde **transversale**.
Le son est un exemple d'onde **longitudinale**.

17. (5 Points) Décrivez brièvement le phénomène de résonance pour les ondes et donnez un exemple.

Lösung: **Distribution des points** : 3 pts pour l'explication, 2 pts pour l'exemple.
La résonance est un phénomène pour lequel il y a une amplification ou une augmentation significative de l'intensité. Ainsi, un phénomène dont l'intensité était initialement faible deviendra plus fort.
Spécifiquement, pour les ondes, la résonance surviendra lorsque plusieurs ondes seront additionnés ou superposés, grâce au principe de superposition. Si elles sont juste bien placées, elles pourront produire une onde stationnaire. Cette onde stationnaire aura une amplitude beaucoup plus grande, avec des noeuds et des ventres.
Un exemple d'onde résonante est sur les cordes (instruments à corde) ou sur les tuyaux (instruments à vent) pour former les harmoniques musicales.

18. (3 Points Boni) Décrivez pourquoi une surface, réfléchissant un son, peut agir comme une source.

Lösung: **Distribution des points** : 3 pts pour une explication raisonnable.
Une réponse possible est en mentionnant le principe de Huygens (chapitre 4).
Une autre réponse possible est en discutant de la réflexion d'onde et que l'onde réfléchie sur la surface aura la même longueur d'onde et fréquence que l'onde incidente. Donc, malgré le fait que l'onde n'ait pas comme origine la surface, il n'est pas nécessaire d'avoir la description complète de son origine.

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		$T = \frac{\omega}{2\pi}$
3.	Fréquence		$f = \frac{1}{T}$
4.a	Fréquence Angulaire	Masse-Ressort	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
4.b	Fréquence Angulaire	Pendule	$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$
2.	Période		$T = \frac{\omega}{2\pi}$
1.a	Onde progressive sinusoïdale		$y(x,t) = A\sin(kx \mp \omega t + \phi)$
1.a	Vitess de Propagation		$\omega = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$
1.a	Densité	Linéique	$\mu = \frac{m}{L}$
1.a	Densité	Surfacique	$\sigma = \frac{m}{A}$
1.a	Densité	Volumique	$\mu = \frac{m}{V}$
1.a	Vitess de Propagation		$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} = \lambda f$
3.a	Fréquence Angulaire		$\omega = \frac{2\pi}{T}$
3.a	Nombre d'Onde		$k = \frac{2\pi}{\lambda}$
3.a	Onde Stationnaire		$y(x,t) = A\sin(kx)\cos(\omega t)$
3.a	Onde Résonante	Longueur d'onde	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1, 2, 3, \ldots\}$
3.a	Onde Résonante	Fréquence	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1, 2, 3, \ldots\}$
3.a	Température		$T_K = T_C + 273.15$
3.a	Vitesse du Son	Air K	$v_{\text{son}} \approx 20\sqrt{T_K}$
3.a	Vitesse du Son	Air C	$v_{\text{son}} \approx 331\sqrt{1 + \frac{T_C}{273.15}}$
3.a	Vitesse du Son	Fluide	$v_{\text{son}} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$
3.a	Intensité		$I = \frac{P}{A}$
3.a	Intensité		$I = \frac{P}{4\pi r^2}$
3.a	Décibels		$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

3.a	Onde Résonante	Tuyau Ouvert	$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad n \in \{1, 2, 3, \ldots\}$
3.a	Onde Résonante	Tuyau Ouvert	$f_n = \frac{nv}{2L}, \quad n \in \{1, 2, 3, \ldots\}$
3.a	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$\lambda_m = \frac{2L}{m}, \quad m \in \{1, 3, 5, \ldots\}$
3.a	Onde Résonante	Tuyau Fermé	$f_m = \frac{mv}{4L}, \quad m \in \{1, 3, 5, \ldots\}$
3.a	Fréquence de Battement		$f_{\text{bat}} = \frac{\|f_1 - f_2\|}{2}$
3.a	Effet Doppler		$f' = \left(\frac{v_{\text{son}} \pm v_{\text{obs}}}{v_{\text{son}} \mp v_{\text{source}}}\right)$
3.a	Identités Trigonométriques	Déphasage	$\cos(A) = \sin(A + \pi/2)$
3.a			$\sin^2(A) + \cos^2(A) = 1$
3.a			$1 + \tan^2(A) = \sec^2(A)$
3.a			$1 + \cot^2(A) = \csc^2(A)$
3.a		Somme	$\sin(A) + \sin(B) = 2\sin\left(\frac{A+B}{2}\right)\cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$
3.a			$\cos(A) + \cos(B) = 2\cos\left(\frac{A+B}{2}\right)\cos\left(\frac{A-B}{2}\right)$

Question	Points	Bonus Points	Score
1	20	2	
2	25	0	
3	14	0	
4	21	0	
5	1	0	
6	1	0	
7	1	0	
8	1	0	
9	1	0	
10	1	0	
11	1	0	
12	1	0	
13	1	0	
14	1	0	
15	0	1	
16	5	0	
17	5	0	
18	0	3	
Total:	100	6	

SIGNATURES: LE CHARGÉ DE COURS ______________________________

LE RÉPONDANT ______________________________