IPhO 2018 - Terminale S

Épreuve de présélection française

28 mars 2018

Durée de l'épreuve : 3 heures

Calculatrices autorisées

L'épreuve comporte quatre parties différentes et indépendantes les unes des autres, dont la nature et les temps à accorder conseillés sont donnés dans le tableau ci-dessous :

		Temps conseillé
PARTIE **A**	QCM	**1 heure**
PARTIE **B**	1er exercice	**20 min**
PARTIE **C**	2ème exercice	**40 min**
PARTIE **D**	problème	**1 heure**

CONSIGNE pour la rédaction

Les réponses sont à rédiger sur les feuilles d'énoncé, dans les emplacements prévus.
Si le candidat a besoin de feuilles supplémentaires, il utilisera les feuilles vierges fournies dont les en-têtes doivent être impérativement complétés.

IMPORTANT

Toutes les feuilles à rendre doivent comporter le nom, le prénom,
le numéro de téléphone et le lycée du candidat.
Tout oubli pourra entrainer l'absence de correction de la feuille concernée.

Nom : Téléphone :

Prénom : Lycée :

PARTIE A

Questionnaire à choix multiples

Temps conseillé : 1 heure

Pour chaque question, il n'y a qu'une réponse correcte. Les candidats entoureront la réponse de leur choix.

Q1. On considère l'association de deux lentilles convergentes. La première lentille a pour focale f et la deuxième pour focale $2f$. Le foyer image de la première lentille est confondu avec le foyer objet de la seconde lentille. On envoie sur la première lentille un faisceau lumineux, constitué de rayons parallèles à l'axe optique. Le diamètre du faisceau incident est de 1 cm.
Comment caractériser le faisceau en sortie de la deuxième lentille ?

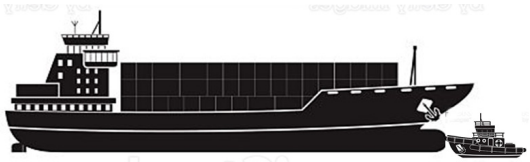
(a) Le faisceau est divergent.

(b) Le faisceau est parallèle à l'axe optique et de diamètre 0,5 cm.

(c) Le faisceau est convergent.

(d) Le faisceau est parallèle à l'axe optique et de diamètre 2 cm.

Q2. Un large cargo doit être remorqué dans un port. On considère la situation au début de remorquage.
Quelle affirmation est juste ?



(a) La force exercée par le remorqueur sur le cargo et celle exercée par le cargo sur le remorqueur sont de normes égales.

(b) La force exercée par le remorqueur sur le cargo a une norme supérieure à celle de la force exercée par le cargo sur le remorqueur.

(c) La force exercée par le remorqueur sur le cargo a une norme inférieure à celle de la force exercée par le cargo sur le remorqueur.

(d) Le cargo n'exerce par de force sur le remorqueur.

Q3. Un fil métallique de section 1 mm^2 a une densité d'électrons (conducteurs) de 6.10^{28} m^{-3}. Chaque électron possède une charge de $1,6.10^{-19}$ C.
Si le fil fait circuler un courant électrique de 1 A, quelle est la vitesse moyenne de déplacement des électrons dans le fil ?

(a) 1 m/s

(b) 1 cm/s

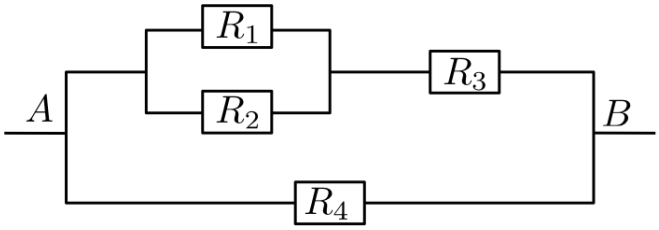
(c) 1 mm/s

(d) 0,1 mm/s

Q4. Une étoile a une température de surface en kelvins égale à la moitié de celle du Soleil. Sa puissance rayonnée est 400 fois celle du Soleil. Quel est le rapport du rayon R de cette étoile sur le rayon du Soleil R_{Soleil} ?

(a) 5
(b) 80
(c) 64.10^3
(d) 25

Q5. On considère le circuit électrique :



avec $R_1 = 2\ k\Omega$, $R_2 = 200\ \Omega$, $R_3 = 1\ k\Omega$ et $R_4 = 100\ \Omega$.

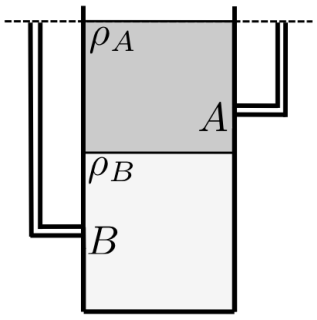
Quelle est la résistance équivalente entre les noeuds A et B ?

(a) R_{AB} dépend de la tension entre les noeuds A et B.
(b) $R_{AB} = 3300\ \Omega$
(c) $R_{AB} \approx 788\ \Omega$
(d) $R_{AB} \approx 92\ \Omega$

Q6. Un pendule simple dont le fil est inextensible, sans raideur et tendu, de longueur ℓ et de masse m oscille à la fréquence f.
Quelle est sa fréquence d'oscillation f' si on divise en deux sa longueur et on double sa masse ?

(a) $f' = \dfrac{f}{\sqrt{2}}$
(b) $f' = \sqrt{2}f$
(c) $f' = 2f$
(d) $f' = f$

Q7. On s'intéresse à un récipient constitué :
— d'un réservoir principal dans lequel reposent deux liquides de masses volumiques différentes $\rho_A < \rho_B$.
— et de deux échappements infiniment fins séparés du réservoir principal par les clapets A et B.
Que constate-t-on après l'ouverture des deux clapets ? (on supposera que les liquides montent doucement dans les tuyaux jusqu'à l'équilibre)

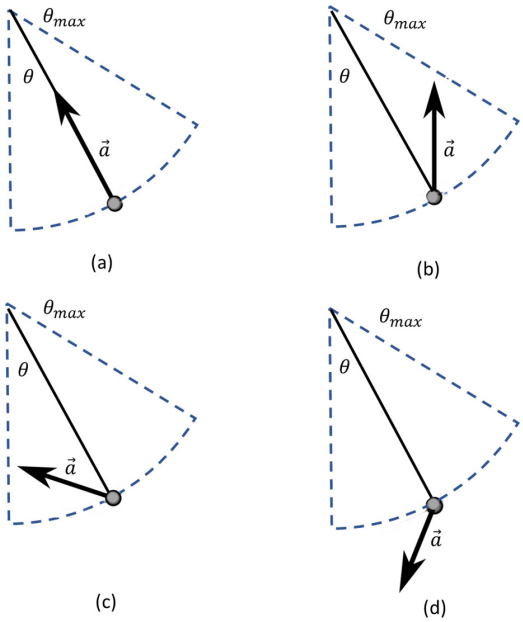


(a) Les deux échappements sont pleins.
(b) L'échappement branché en A est plein, l'échappement branché en B n'est pas plein.
(c) L'échappement branché en A n'est pas plein , l'échappement branché en B est plein.
(d) Aucun des deux échappements n'est plein.

Q8. Une sphère flotte sur l'eau. Les deux tiers du volume de la sphère sont immergés. On déplace cette même sphère dans un récipient contenant de l'huile, qui a une densité égale au trois-quart de celle de l'eau.
Quelle fraction de la sphère va alors être immergée dans l'huile ?

(a) 3/4
(b) 1/2
(c) 8/9
(d) Toute la sphère va être immergée.

Q9. On considère une particule ponctuelle accrochée à un pendule, fait d'un fil inextensible. On considère la particule à l'instant où le fil fait un angle θ avec la verticale, égal à la moitié de la valeur de l'angle maximum $\theta_{\max}$.
On se place dans la phase ascendante du mouvement.
Quelle représentation graphique du vecteur accélération est correcte ?



(a) Situation (a)
(b) Situation (b)
(c) Situation (c)
(d) Situation (d)

Q10. On cherche à rompre une liaison covalente d'énergie molaire $E_{lc} \approx 350$ kJ.mol^{-1} avec un rayonnement électromagnétique.
Quelle condition doit vérifier le rayonnement électromagnétique pour rompre cette liaison covalente ?

(a) Sa longueur d'onde $\lambda > \dfrac{hc\mathcal{N}_A}{E_{lc}}$
(b) Sa longueur d'onde $\lambda < \dfrac{hc}{E_{lc}}$
(c) Le rayonnement électromagnétique est situé dans le visible.
(d) Le rayonnement électromagnétique est situé dans l'ultraviolet.

Q11. On considère un oeil myope tel que le *punctum remotum* est situé à 10 cm de la face avant de l'oeil et la distance entre le cristallin et la rétine est $D = 22$ mm.
Quelle est la focale f' des lentilles de contact qu'il doit choisir ?

(a) $f' = -0,1$ m
(b) $f' = +0,1$ m
(c) $f' = -0,01$ m
(d) $f' = +0,01$ m

Q12. On coupe un ressort, de longueur à vide ℓ_0 et et de constante de raideur k_0, en deux parties inégales ℓ_1 et ℓ_2. Quelle condition vérifie les constantes de raideur k_1 et k_2 des deux ressorts obtenus ?

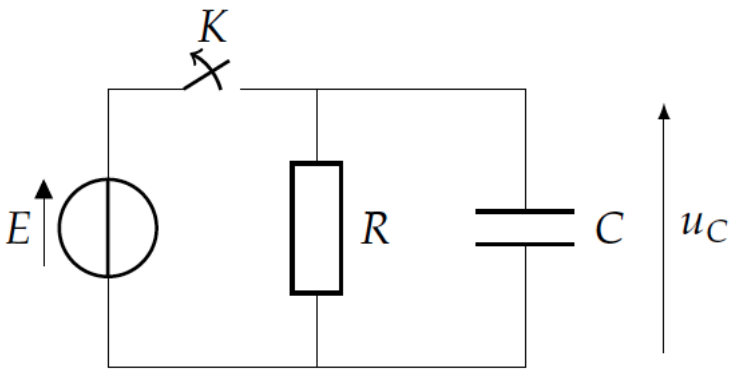
(a) $k_1 = k_2 = k_0$

(b) $k_1 + k_2 = k_0$

(c) $\ell_1 k_1 = \ell_2 k_2$

(d) Aucune de ces réponses n'est vraie.

Q13. Ce circuit électrique permet de régler la durée d'allumage d'une lampe (qui n'est pas représentée sur le schéma) :



À $t = 0$ s, on ouvre l'interrupteur K fermé depuis longtemps.
— La lampe s'éteint lorsque la tension u_C est inférieure à 5% de E.
— La capacité du condensateur est $C = 20\ \mu$F.
— La lampe doit rester allumée 6 ms.
Quelle valeur de résistance R, prenant en compte celle de la lampe, doit-on choisir ?

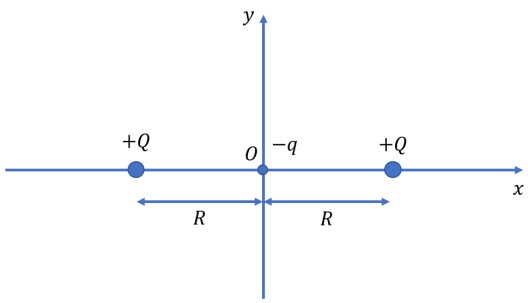
(a) $R = 300\ \Omega$

(b) $R = 100\ \Omega$

(c) $R = 15\ \Omega$

(d) La valeur de R dépend de la valeur de E.

Q14. Deux particules ponctuelles chargées, de charge identique $+Q$ (avec Q positif) sont placées de part et d'autre de l'axe (Ox), à une distance R du point O. Une particule ponctuelle de masse m et de charge $-q$ (avec q positif) est placée en O. Cette dernière subit des oscillations le long de l'axe (Oy). On ne considère que les oscillations d'amplitude faible.
Quelle est la pulsation de ces oscillations ?



(a) $\dfrac{Qq}{4\pi\epsilon_0 m R^2}$

(b) $\dfrac{Qq}{2\pi\epsilon_0 m R^2}$

(c) $\left(\dfrac{Qq}{2\pi\epsilon_0 m R^2}\right)^{1/2}$

(d) $\left(\dfrac{Qq}{2\pi\epsilon_0 m R^3}\right)^{1/2}$

Q15. Quelle est l'énergie minimale E_{min} d'une particule quantique de masse m confinée dans un puits unidimensionnel infini de largeur ℓ ?

(a) Son énergie minimale est nulle.

(b) $E_{min} = \dfrac{h^2}{8m\ell^2}$

(c) $E_{min} = \dfrac{h^2}{8m\ell}$

(d) $E_{min} = \dfrac{h}{8m\ell^2}$

Q16. Un proton est accéléré depuis un état au repos par une différence de potentiel électrique.
Sachant que l'énergie du proton au repos est de 938 MeV, quelle est la valeur de la différence de potentiel électrique permettant au proton d'atteindre une vitesse de 0,95 c ?

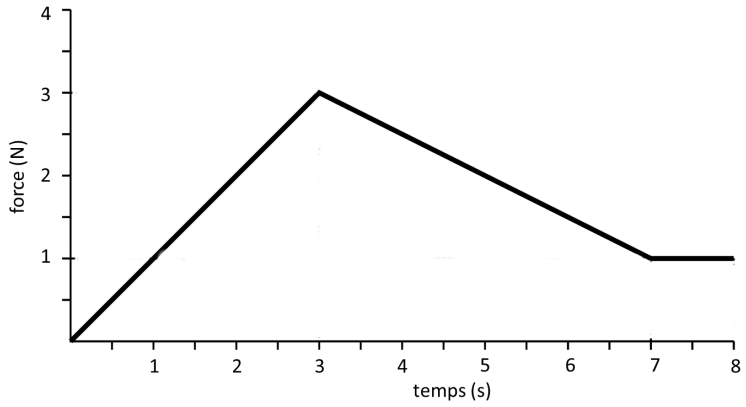
(a) $2,1.10^9$ V

(b) $1,3.10^3$ V

(c) $3,9.10^9$ V

(d) $3,9.10^3$ V

Q17. On considère un objet de masse 5 kg qui subit une seule force, variant en fonction du temps selon la figure suivante. Cette force a même direction et même sens que la vitesse initiale de l'objet, égale à 1,0 m/s.
Quelle est la vitesse de l'objet à t=7 s ?



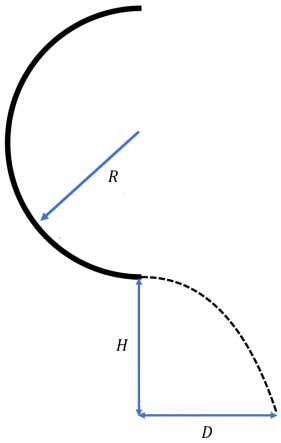
(a) 2,5 m/s

(b) 12 m/s

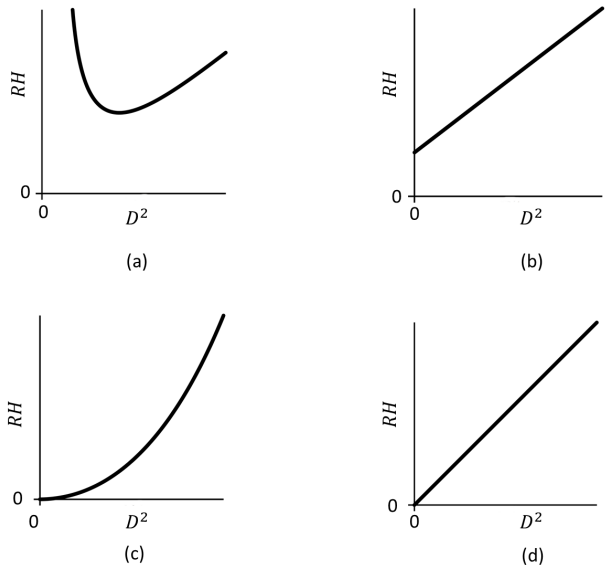
(c) 15 m/s

(d) 3,5 m/s

Q18. On considère un tube creux, formant un cercle de rayon R, qui correspond au dessin ci-dessous. Une bille est lâchée sans vitesse initiale depuis le haut du tube. Les frottements sont négligés. Le bas du tube est situé à une altitude H par rapport au sol, où retombe finalement la bille. On note D la distance parcourue par la bille selon un axe horizontal (voir schéma).



Quel graphique représentant RH en fonction de D^2 est correct ?



(a) Graphique (a)

(b) Graphique (b)

(c) Graphique (c)

(d) Graphique (d)

Fin de la PARTIE A

Nom : Téléphone :

Prénom : Lycée :

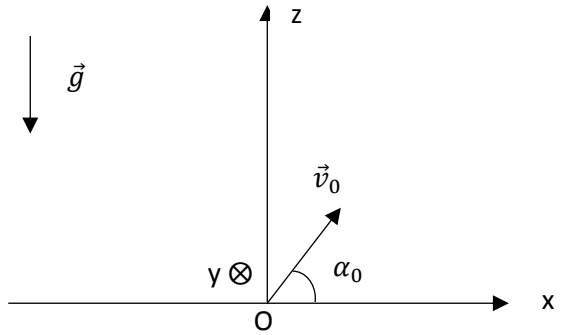
PARTIE B

1er Exercice

Tir de projectile – Courbe de sûreté

Temps conseillé : 20 minutes

1. À t = 0, on lance un projectile M de masse m à partir du point O, avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle α_0 avec l'horizontale (voir figure ci-dessous). On néglige la résistance de l'air.



Pour déterminer la trajectoire du projectile :

1.a. montrer que la trajectoire est plane ;

1.b. déterminer les coordonnées horizontale $x(t)$ et verticale $z(t)$ du projectile à l'instant t ;

1.c. en déduire une équation de la trajectoire de la forme $z = f(x)$;

1.d. représenter schématiquement la trajectoire pour une valeur quelconque de α_0 et identifier la nature de cette trajectoire.

2. On cherche à déterminer l'ensemble des points qui peuvent être atteints par le projectile en faisant varier α_0, le module v_0 de sa vitesse initiale étant fixé.

2.a. Soit N le point qu'on cherche à atteindre, de coordonnées X et Z.
Écrire l'équation que doit satisfaire $\tan(\alpha_0)$ pour que le point N soit atteint par le projectile.

Formulaire : $\frac{1}{cos^2 a} = 1 + tan^2 a$

Indication : *Pour simplifier les équations, on pourra introduire les coordonnées réduites (sans dimension)*

$$X' = \frac{gX}{2v_0^2} \quad et \quad Z' = \frac{gZ}{2v_0^2} \quad du\ point\ N.$$

2.b. Montrer que le point N ne peut pas être atteint par le projectile s'il est situé au-dessus d'une courbe (appelée courbe de sûreté) dont on donnera une équation du type $Z = f(X)$ ou $Z' = f(X')$.
Tracer l'allure de cette courbe et identifier sa nature.

2.c. Montrer qu'un point N situé en dessous de la courbe de sûreté peut être atteint par le projectile selon deux trajectoires différentes (on ne demande pas de calculer explicitement les équations de ces trajectoires).
Dessiner qualitativement l'allure de ces deux trajectoires sur le schéma tracé à la question 2.b.
Montrer qu'il n'existe qu'une seule trajectoire permettant d'atteindre un point N situé sur la courbe de sûreté.

3. Bien entendu ces résultats ont toujours intéressé les pilotes d'avion et les artilleurs de DCA (Défense Contre Avion). Mais malheureusement ou heureusement (selon qu'on soit artilleur ou pilote), on ne peut négliger la résistance de l'air sur le projectile lancé par un canon : comme ce projectile est rapide, il en résulte une force de frottement dont le module est approximativement proportionnel au carré de la vitesse. Sans aucun calcul, mais en s'aidant d'un schéma, expliquer qualitativement comment évolue la courbe de sûreté si on prend en compte la résistance de l'air.

Fin de la PARTIE B

PARTIE C

2ème Exercice
Mesure de vitesse de rotation par méthode optique

Temps conseillé : 40 minutes

Pour cet exercice, le candidat ne rendra que les pages numérotées de 3 à 6.

Les gyroscopes optiques, utilisés aujourd'hui en navigations avionique et spatiale, permettent de mesurer des déplacements angulaires sans référence extérieure. Leur fonctionnement repose sur l'**effet Sagnac**, conséquence de la **rotation d'un circuit fermé le long duquel se propagent deux ondes lumineuses en sens opposés**.

Étudier l'effet Sagnac nécessite de se placer dans le cadre de la relativité générale. Néanmoins, un raisonnement établi dans le cadre de la cinématique et de la mécanique classiques, pour des rotations induisant des vitesses très petites devant celle de la lumière dans le vide, permet d'obtenir au premier ordre des résultats corrects dans les cas simplifiés qu'aborde cet exercice.

Dans tout l'exercice, les ondes considérées sont planes et monochromatiques. Les phénomènes de polarisation ne sont pas pris en compte : on utilise l'approximation scalaire de la lumière.

I – L'effet Sagnac (1913)

On suppose que le milieu de propagation est le vide, la lumière s'y propage à la vitesse $c = 3{,}00.10^8$ m.s^{-1}.

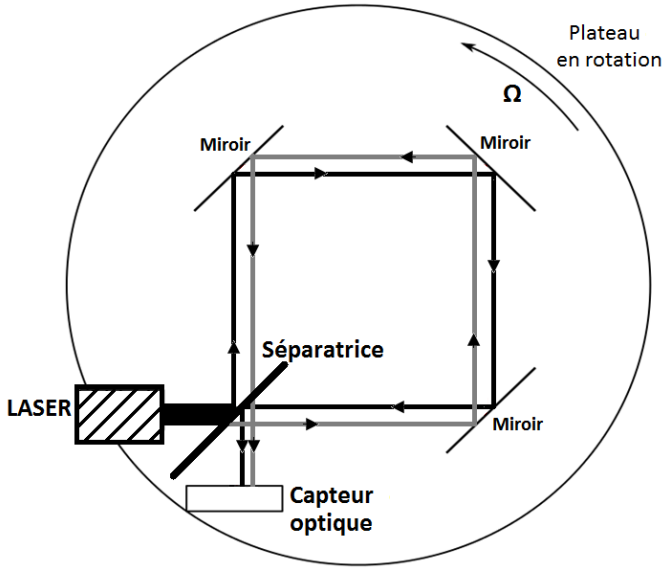


Figure 1 – Interféromètre (ou gyromètre optique) permettant d'observer l'effet Sagnac.

Un interféromètre à deux ondes séparées tel que schématisé en **figure 1** permet d'observer l'effet Sagnac.

Le faisceau incident, produit par un laser, est séparé en deux par un miroir semi-transparent, appelé séparatrice. Les deux faisceaux qui en résultent empruntent le même trajet dans l'interféromètre, mais le parcourent en sens opposés. Après avoir traversé de nouveau la séparatrice, les deux faisceaux émergents, superposés, interfèrent et sont interceptés par un capteur optique qui réalise des mesures d'intensité lumineuse.

L'ensemble du dispositif expérimental est solidaire d'un plateau qui peut être mis en rotation.

Dans cet exemple, le circuit lumineux construit avec trois miroirs est de forme carrée.

Afin de simplifier l'étude, on remplace le circuit carré par un cercle de rayon R (voir **figure 2**).

Au point M se trouve un dispositif analogue à la séparatrice qui divise en deux une onde lumineuse incidente de longueur d'onde dans le vide λ. Les deux ondes ainsi générées, notées (1) et (2), tournent dans l'interféromètre, chacune dans un sens. Après un tour complet, elles reviennent en M où elles sont dirigées, superposées, vers un capteur optique (non représenté sur la figure 2).

On note Ω la vitesse angulaire de rotation de l'interféromètre autour de son axe central, par rapport au référentiel galiléen $\mathcal{R}$ où le centre du plateau est immobile.

Lorsque $\Omega \neq 0$, la séparatrice M se déplace pendant la propagation des ondes. Les longueurs effectives de circuit vues par les deux ondes sont alors différentes (voir **figure 3**). Pour atteindre de nouveau la séparatrice, l'onde (1) parcourt un trajet de longueur L_1 pendant une durée Δt_1, tandis que l'onde (2) parcourt un trajet de longueur L_2 pendant une durée Δt_2 (avec $\Delta t_2 \neq \Delta t_1$).

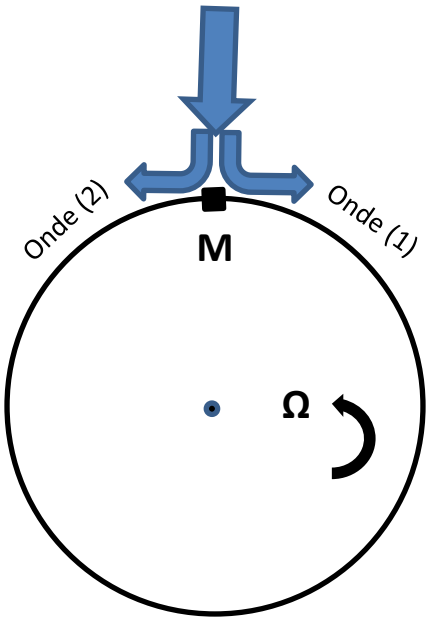


Figure 2 – Principe de fonctionnement d'un gyromètre optique

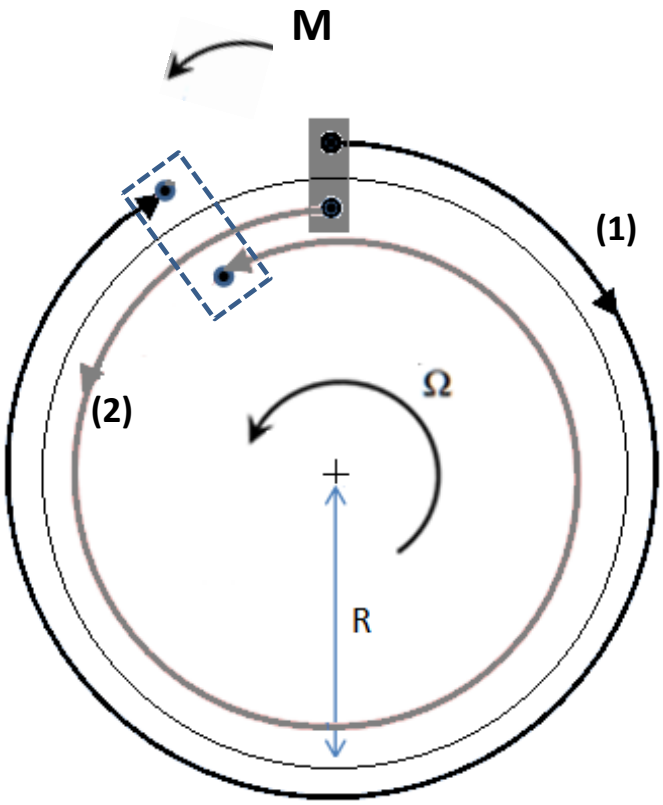


Figure 3 – Propagation des ondes dans le gyromètre optique

I.1. *Différence de longueur de parcours*

I.1.a. Donner l'expression des longueurs L_1 et L_2 en fonction de R, Ω et c.
Indication : On pourra écrire d'abord deux relations entre L_1 et Δt_1, l'une nécessitant R et Ω et l'autre nécessitant c. Idem pour L_2 et Δt_2.

I.1.b. Montrer alors que pour atteindre le capteur, dans l'hypothèse réaliste où $\Omega.R \ll c$, en ne gardant que les termes du premier ordre en $\frac{\Omega.R}{c}$, la différence de longueur de parcours $\Delta L = L_2 - L_1$ entre les deux ondes peut s'écrire : $\mathbf{\Delta L = \frac{4S}{c}\,\Omega}$ où S est la surface de l'interféromètre circulaire.

Indication : On rappelle que, pour x petit devant 1 (x << 1), on a : $\frac{1}{1+x} \approx 1 - x$
en se limitant au terme du premier ordre en x.

I.2. *Déphasage*

Montrer que la différence de phase $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta L$ introduite entre les ondes (1) et (2) est proportionnelle à la vitesse de rotation Ω de l'interféromètre. Exprimer le coefficient de proportionnalité correspondant en fonction de λ, de c et de la surface S de l'interféromètre.

Généralisation du résultat : *cette expression du déphasage « Sagnac » Δϕ n'est pas réservée aux interféromètres circulaires, elle est encore valable quelle que soit la forme de la surface S entourée par le trajet fermé de la lumière.*

I.3. *Intensité lumineuse à la sortie de l'interféromètre*

On donne les expressions des signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$ correspondant respectivement aux ondes (1) et (2) lorsqu'elles arrivent sur le capteur optique, après leurs parcours respectifs dans l'interféromètre et la traversée de la séparatrice :

$$s_1(t) = A\cos(\omega t)$$
$$s_2(t) = A\cos(\omega t + \Delta\phi)$$

L'amplitude maximale A est la même pour les deux signaux car la séparatrice utilisée est une lame semi-réfléchissante (50:50).

L'intensité lumineuse I mesurée par le capteur optique recevant une onde s(t) périodique est proportionnelle au carré de s(t) moyenné sur une période T du signal :

$$\mathbf{I = K.\frac{1}{T}.\int_0^T s(t)^2.dt}$$ où K est une constante

Montrer alors que l'intensité lumineuse mesurée par le capteur optique, résultant de la superposition des signaux $s_1(t)$ et $s_2(t)$, s'écrit :

$$\mathbf{I = \frac{I_{max}}{2}.(1 + \cos\Delta\phi)}$$

avec I_{max} l'intensité maximale mesurable en sortie de l'interféromètre, dont l'expression est à préciser.

Indication

On pourra utiliser sans le démontrer que la valeur moyenne sur une période $T = \frac{2\pi}{\omega}$ de la fonction $cos^2(\omega t + \varphi)$ est égale à $\frac{1}{2}$, soit :

$$\frac{1}{T}.\int_0^T \cos^2(\omega t + \varphi).dt = \frac{1}{2}$$

Rappel : Relations trigonométriques

- $cos(a + b) = cos(a).cos(b) - sin(a).sin(b)$
- $cos(a) + cos(b) = 2.cos\left(\frac{a+b}{2}\right).cos\left(\frac{a-b}{2}\right)$
- $cos^2x = \frac{1}{2}(1 + cos(2x))$

I.4. *Plage de mesure*

I.4.a. Rappeler les conditions d'interférences constructives puis destructives, portant sur le déphasage $\Delta\phi$ entre les ondes (1) et (2).

I.4.b. Quand l'interféromètre est au repos ($\Omega = 0$), le capteur optique détecte un maximum d'intensité lumineuse. Lorsque la vitesse de rotation Ω augmente, l'intensité lumineuse mesurée diminue jusqu'à atteindre un premier minimum (voir **figure 4**). Donner l'expression de Ω_{max} correspondant à ce premier minimum d'intensité lumineuse, en fonction de S, λ et c.

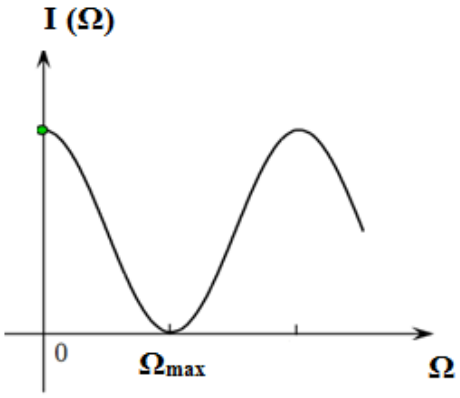


Figure 4 – Représentation graphique de l'intensité lumineuse mesurée par le capteur optique

II - Gyromètre à fibre optique

Une réalisation expérimentale de l'interféromètre circulaire précédemment étudié consiste à guider les deux faisceaux générés par la séparatrice dans une fibre optique. Bien que la lumière ne se propage plus dans le vide mais dans un milieu d'indice n, le déphasage « Sagnac » $\Delta\phi$ reste donné par l'expression obtenue à la question I.2.

II.1. *Gyromètre à fibre multitours*

En pratique, les gyromètres à fibre optique sont constitués d'une bobine multitours (fibre optique enroulée sur N tours). Expliquer l'intérêt d'une fibre multitours.

II.2. *Mesure de la rotation terrestre*

On souhaite mesurer la vitesse angulaire Ω_T de rotation de la Terre sur elle-même. On dispose d'un gyromètre à fibre optique multitours, dont la fibre, de longueur L = 2,0 km, est enroulée sur un cylindre de rayon R = 6,0 cm. Ce gyromètre est équipé d'une source laser de longueur d'onde dans le vide λ = 850 nm.

L'expérience a lieu à Paris. On dispose le gyromètre de façon à ce que la surface plane de l'interféromètre soit rigoureusement perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre (axe des pôles). Dans ces conditions, sachant que la Terre tourne sur elle-même en un jour sidéral de durée 86164 s, calculer le déphasage « Sagnac » $\Delta\phi$ attendu.

Bien que ce déphasage soit très faible, on parvient à le mesurer en utilisant des méthodes appropriées.

Fin de la PARTIE C

Nom : Téléphone :

Prénom : Lycée :

PARTIE D
Problème
Autour de la célérité du son

Temps conseillé : 1 heure

Dès le milieu du XVIIe siècle, les physiciens ont tenté de mesurer la vitesse des ondes sonores.

Dans ce problème, on présentera et on étudiera d'abord quelques méthodes de mesure de la célérité des ondes acoustiques. Dans une deuxième partie, on étudie un dispositif expérimental appelé tube de Kundt, permettant de déterminer la dépendance en température de la célérité des ondes acoustiques sous certaines hypothèses.

1. Généralités sur les ondes acoustiques

Q 1. Parmi les différents types d'ondes, on distingue les ondes longitudinales et transversales. Quelle est la signification de chacun de ces deux termes ? Dans quelle catégorie peut-on classer les ondes acoustiques ?

Q 2. Dans quelle gamme de fréquences l'homme perçoit-il les sons ? Placer par rapport à cette gamme de fréquences les domaines des infrasons et des ultrasons.

2. Mesure de la célérité du son

À 22 °C, la valeur théorique de la célérité du son dans l'air est c = 345 m.s^{-1}. On se propose de vérifier cette valeur par deux protocoles expérimentaux. Les expériences qui suivent sont toutes réalisées à 22°C.

2.1. Mesure d'échos ultrasonores

Une première expérience consiste à mesurer une durée de vol. Un émetteur et un récepteur d'ultrasons sont placés côte à côte à une distance D d'un écran. La valeur mesurée de cette distance est $D = 16,0 \pm 0,1$ cm. Une impulsion ultrasonore est émise par l'émetteur toutes les 4,8 ms. Grâce à une carte d'acquisition, on enregistre une tension EA0, image de la perturbation sonore au niveau du capteur, en fonction du temps. On représente sur la figure 1 une courbe obtenue expérimentalement.

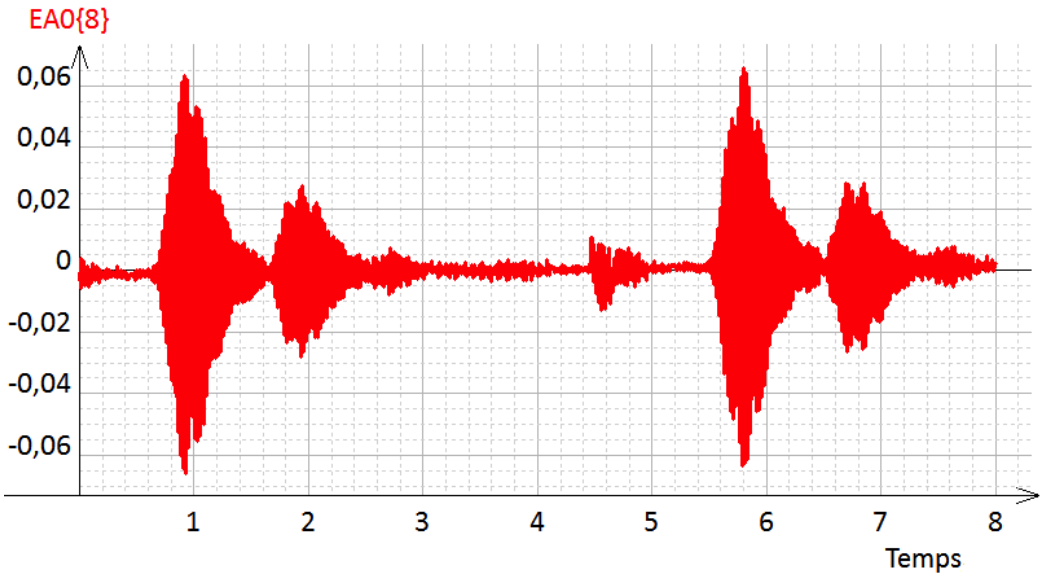


Figure 1: Tension en mV aux bornes du récepteur en fonction du temps en ms.

Q 3. Réaliser un schéma de l'expérience.

Q 4. Interpréter la présence de plusieurs maxima sur la courbe figure 1. La réponse pourra être donnée directement sur cette figure.

Q 5. Comment l'exploitation de cette courbe permet-elle de remonter à la valeur de la célérité du son dans l'air ?

Q 6. En déduire une valeur de la célérité c du son dans l'air.

Q 7. En justifiant la démarche, estimer numériquement l'incertitude de mesure associée à c avec cette méthode.

2.2. Utilisation d'une onde progressive sinusoïdale

Une seconde expérience consiste à placer l'émetteur et le récepteur d'ultrasons face à face, séparés d'une distance choisie arbitrairement. L'émetteur produit maintenant une onde progressive sinusoïdale. Une carte d'acquisition permet de relever et visualiser simultanément les tensions images de l'onde au niveau de l'émetteur (EA0) et du récepteur (EA1).

Le récepteur est ensuite écarté de l'émetteur progressivement. On note x la distance entre sa position initiale et sa position à un instant t.

Q 8. Une onde progressive sinusoïdale est caractérisée par les deux grandeurs suivantes : sa période T et sa longueur d'onde λ. Que représente chacune de ces deux grandeurs ? Pourquoi parle-t-on alors de double périodicité spatio-temporelle ?

On donne sur la figure 2 les courbes relevées pour $x = 4,0 \pm 0,5$ mm. L'origine des temps a été choisie pour $EA0 = 0$ mV.

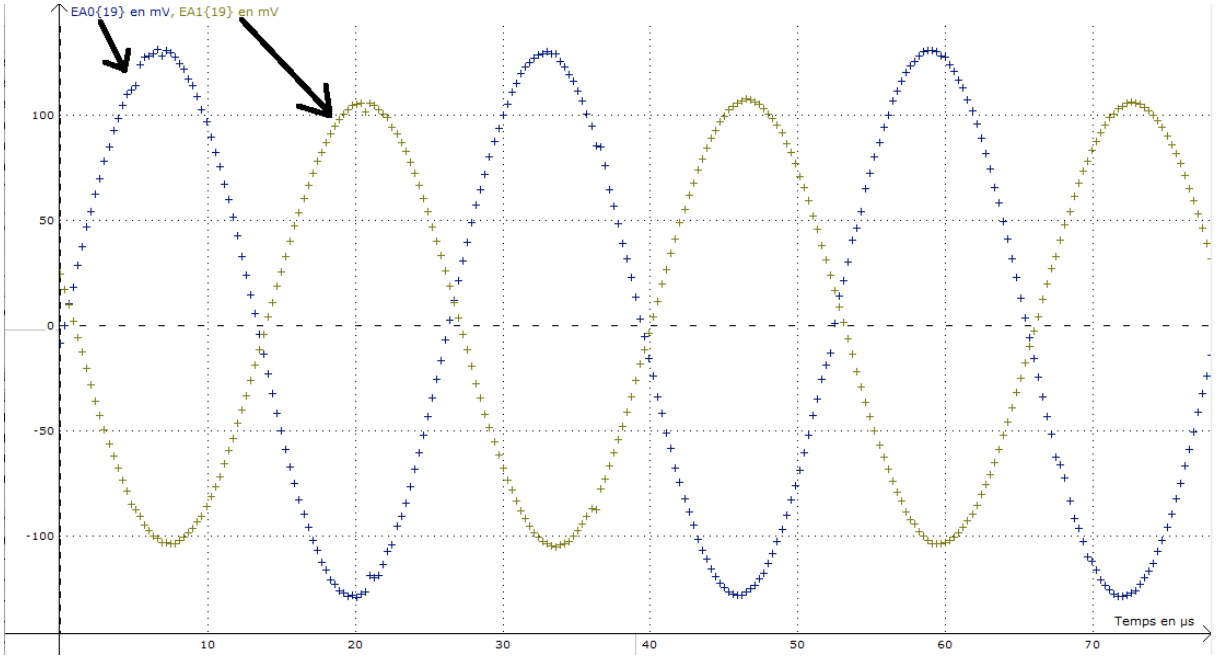


Figure 2: Emission et réception d'un signal ultrasonore. En ordonnée, les tensions images de l'onde sont en mV, en abscisse le temps est en μs.

Q 9. À partir de cette courbe, déterminer la période de l'onde sonore produite par l'émetteur.

Q 10. Pourquoi observe-t-on un décalage temporel entre ces deux courbes ? En explicitant votre démarche, mesurer le retard temporel Δt de l'onde reçue par rapport à l'onde émise et compléter le tableau ci-dessous.

x (mm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Δt (μs)	1,6	4,7	6,0	9,6		15,0	18,6	21,1	24,3

Q 11. Comment l'exploitation de cette courbe permet-elle de remonter à la valeur de la célérité du son ?

Q 12. En déduire une valeur de la célérité c du son.

Q 13. En justifiant la démarche, estimer numériquement l'incertitude de mesure associée à c avec cette méthode.

2.3. Discussion des résultats

Q 14. Les résultats obtenus par ces deux méthodes sont-ils cohérents avec la valeur théorique attendue ?

Q 15. Discuter la précision de la mesure de la célérité par chacune des deux méthodes et comparer les deux méthodes. On justifiera la réponse.

Fin de la PARTIE D