

M10/4/PHYSI/SP3/FRE/TZ0/XX



International Baccalaureate®  
Baccalauréat International  
Bachillerato Internacional

**PHYSIQUE  
NIVEAU MOYEN  
ÉPREUVE 3**

Mardi 11 mai 2010 (matin)

Numéro de session du candidat

1 heure

0	0							
---	---	--	--	--	--	--	--	--

**INSTRUCTIONS DESTINÉES AUX CANDIDATS**

- Écrivez votre numéro de session dans les cases ci-dessus.
- N'ouvrez pas cette épreuve avant d'y être autorisé(e).
- Répondez à toutes les questions de deux des options dans les espaces prévus à cet effet.
- À la fin de l'examen, veuillez indiquer les lettres des options auxquelles vous avez répondu dans la case prévue à cet effet sur la page de couverture.



**Option A — Vue et phénomènes ondulatoires**

**A1.** Cette question porte sur la vision et sur l'œil.

(a) Exprimez **une** fonction

(i) des cônes rétiniens.

[1]

.....  
.....

(ii) des bâtonnets.

[1]

.....  
.....

(b) Décrivez la distribution des cônes et des bâtonnets sur la rétine.

[2]

.....  
.....  
.....  
.....

(c) Un objet doit être vu dans une lumière très faible. En référence à votre réponse à la question (b), expliquez pourquoi cet objet est vu le plus clairement lorsqu'on le regarde de côté plutôt que d'en face.

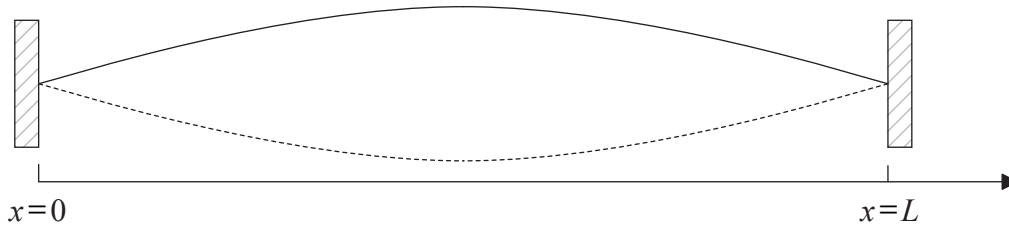
[2]

.....  
.....  
.....  
.....



**A2.** Cette question porte sur les ondes stationnaires.

On fait vibrer dans le mode fondamental (première harmonique) une corde qui est fixée aux deux extrémités.



Les extrémités fixées de cette corde sont  $x=0$  et  $x=L$ .

Chaque point sur cette corde oscille en un mouvement harmonique simple. Le déplacement  $y$  de la corde en un point  $x$  au moment  $t$  est donné par l'équation

$$y = A \cos(500\pi t)$$

dans laquelle  $A = 12 \sin\left(\frac{\pi x}{2}\right)$ .

Dans ces formules,  $x$  est en mètres et  $t$  est en secondes. En utilisant cette équation,

(a) expliquez pourquoi l'amplitude de l'onde stationnaire n'est pas constante. [1]

.....  
 .....

(b) calculez la fréquence de l'onde stationnaire. [2]

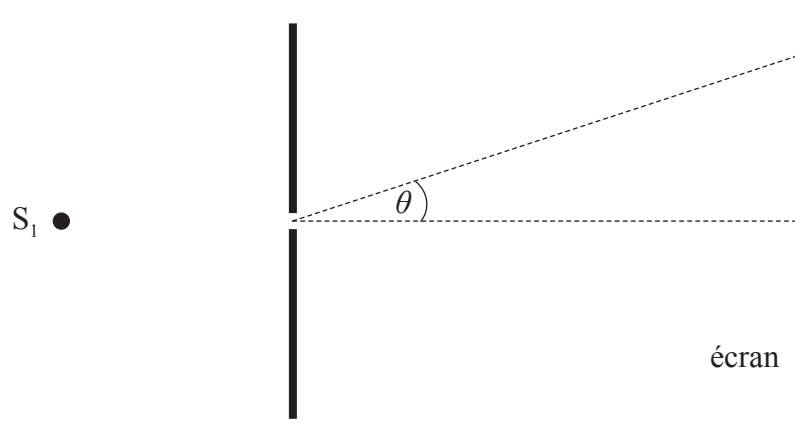
.....  
 .....

(c) montrez que  $L=2,0$  m. [1]

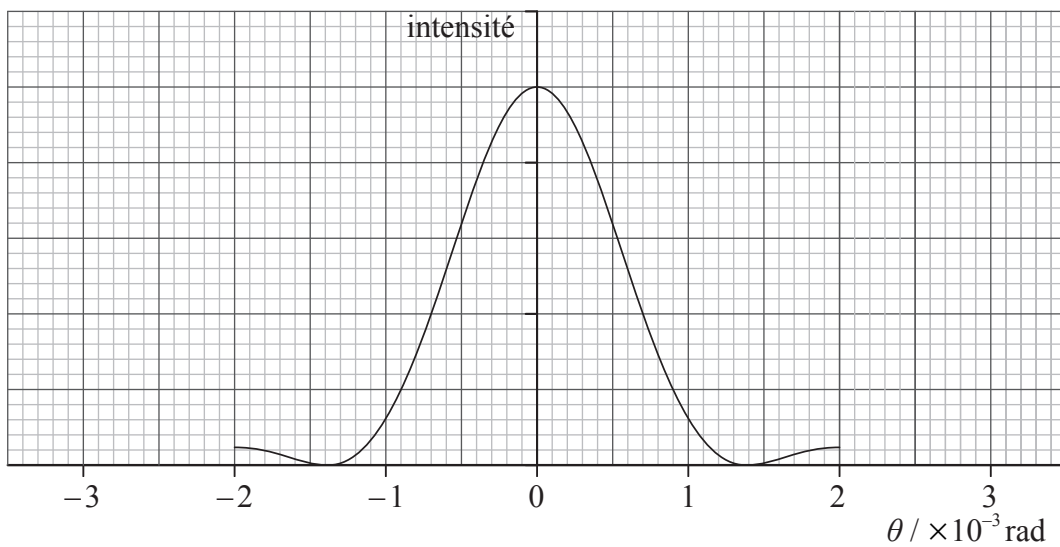
.....  
 .....

**A3.** Cette question porte sur la diffraction et la résolution.

- (a) La lumière émise par une source ponctuelle monochromatique  $S_1$  est incidente sur une fente rectangulaire étroite.



Après être passée à travers cette fente, la lumière est incidente sur un écran situé à une certaine distance de la fente. Le graphique montre comment la distribution d'intensité sur l'écran varie avec l'angle  $\theta$  montré sur le diagramme.



*(Suite de la question à la page suivante)*



(Suite de la question A3)

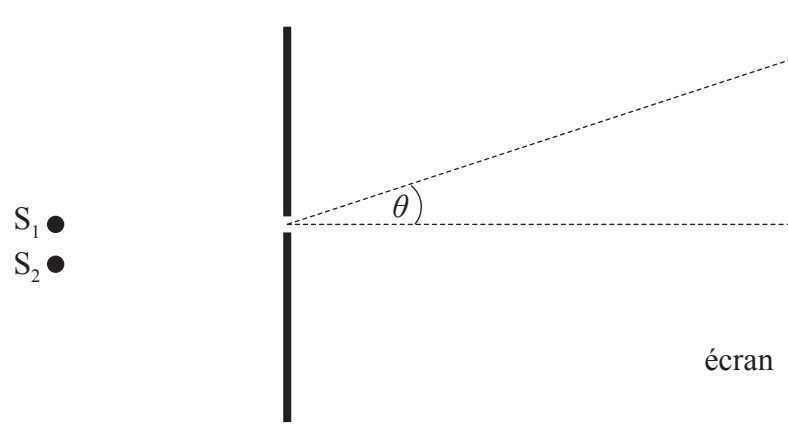
- (i) La largeur de la fente est  $4,0 \times 10^{-4}$  m. Utilisez les données sur le graphique pour calculer la longueur d'onde de la lumière. [2]

.....

.....

.....

- (ii) Une source identique  $S_2$  est placée près de  $S_1$  comme montré.



Les images des deux sources sur l'écran sont juste résolues selon le critère de Rayleigh. Sur le graphique sur la page en face, dessinez la distribution d'intensité de la deuxième source. [1]

- (b) On utilise le Very Large Array (VLA) pour analyser les signaux radio provenant de galaxies éloignées. Le diamètre combiné du VLA est 36 km. Une région de taille linéaire  $L$  à l'intérieur de la radiogalaxie M87 émet des ondes radioélectriques d'une fréquence de 43 GHz. Cette galaxie est à une distance  $4,7 \times 10^{23}$  m de la Terre. Le VLA peut juste résoudre la région émettrice d'ondes radioélectriques. Estimez la valeur de  $L$ . [3]

.....

.....

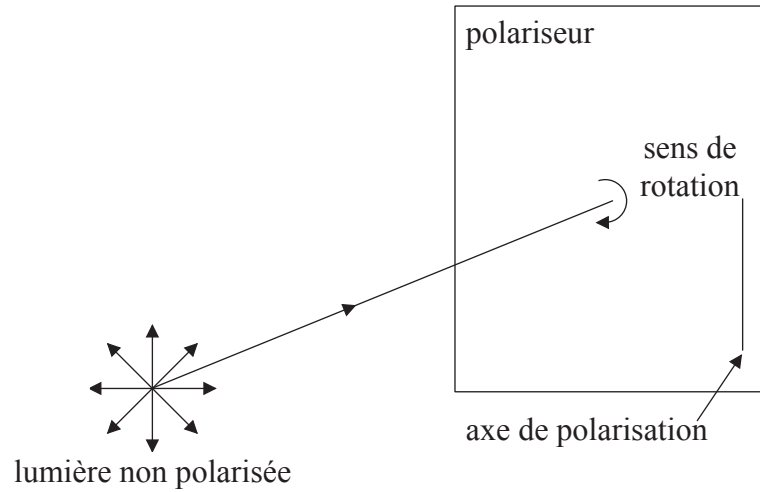
.....

.....

.....

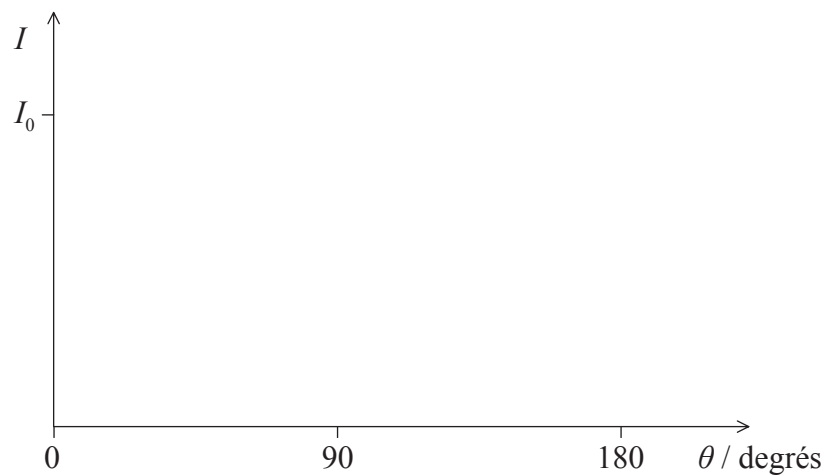
A4. Cette question porte sur la polarisation.

- (a) Un faisceau de lumière non polarisée d'une intensité de  $I_0$  est incident sur un polariseur. L'axe de polarisation de ce polariseur est initialement vertical comme montré.



Le polariseur est alors tourné de  $180^\circ$  dans la direction montrée. Sur les axes ci-dessous, esquissez un graphique pour montrer la variation, en fonction de l'angle de rotation  $\theta$ , de l'intensité de la lumière transmise  $I$ , tandis que  $\theta$  varie de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ . Légendez votre graphique esquissé avec la lettre U.

[2]

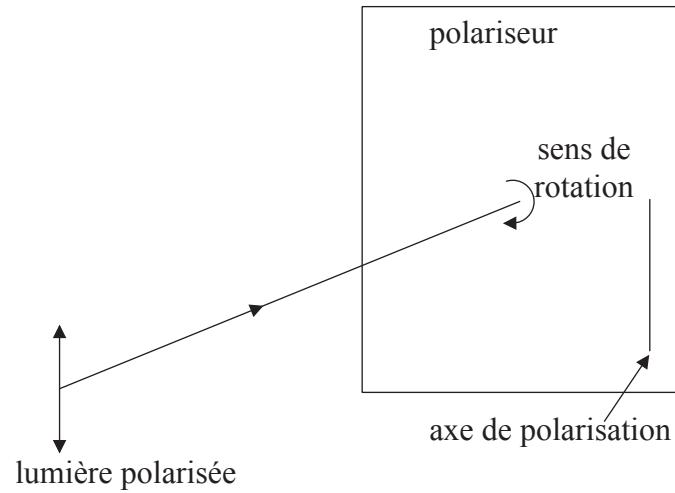


(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question A4)

- (b) Le faisceau en (a) est alors remplacé par un faisceau polarisé de lumière de la même intensité. Le plan de polarisation de la lumière est initialement parallèle à l'axe de polarisation du polariseur.



Le polariseur est alors tourné de  $180^\circ$  dans la direction montrée. Sur les mêmes axes qu'en (a), esquissez un graphique pour montrer la variation, en fonction de l'angle de rotation  $\theta$ , de l'intensité de la lumière transmise  $I$ , tandis que  $\theta$  varie de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ . Légendez votre graphique esquissé avec la lettre P.

[2]

**Option B — Physique quantique et physique nucléaire**

**B1.** Cette question porte sur l'effet photoélectrique.

- (a) Dans l'effet photoélectrique, des électrons sont émis depuis une surface métallique presque immédiatement après qu'une lumière est incidente sur cette surface, c'est-à-dire sans aucun retard. Expliquez cette observation en référence à la théorie d'Einstein de l'effet photoélectrique. [2]

.....

.....

.....

.....

.....

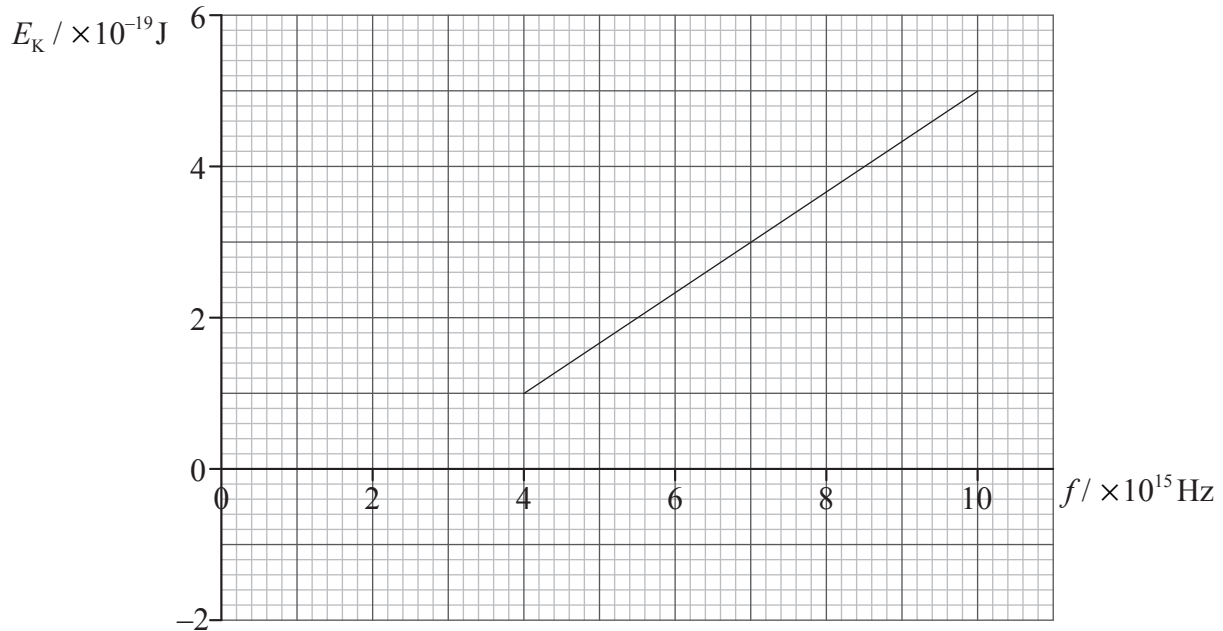
*(Suite de la question à la page suivante)*





(Suite de la question B1)

- (b) Le graphique montre la variation, en fonction de la fréquence  $f$  de la lumière incidente, de l'énergie cinétique  $E_k$  des électrons émis.



Utilisez ce graphique pour

- (i) estimer le travail de sortie de cette surface métallique. [1]

.....  
 .....

- (ii) calculer la vitesse maximum des électrons émis pour une lumière incidente d'une fréquence de  $5,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$ . [3]

.....  
 .....



**B2.** Cette question porte sur les aspects quantiques de l'électron.

- (a) On dit que l'énergie des électrons dans les atomes est quantifiée. Exprimez ce qu'on entend par énergie quantifiée. [1]

.....  
 .....

- (b) Un électron dont le mouvement est limité dans une région d'une longueur  $L$  ne peut avoir que des énergies données par l'équation

$$E_n = \frac{h^2 n^2}{8\pi m L^2}$$

dans laquelle  $n$  est un nombre entier positif.

Pour  $L = 1,0 \times 10^{-10}$  m, utilisez l'équation ci-dessus pour

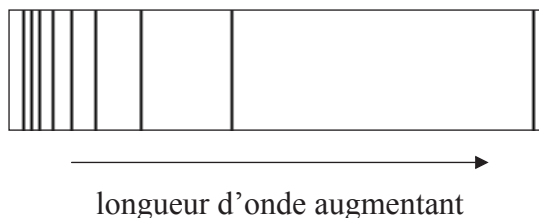
- (i) calculer que la plus petite différence entre les énergies permises de l'électron est  $5,8 \times 10^{-18}$  J. [2]

.....  
 .....

- (ii) déterminer la longueur d'onde du photon dont l'énergie est  $5,8 \times 10^{-18}$  J. [3]

.....  
 .....

- (c) Une partie du spectre d'émission de l'hydrogène est montrée sur le schéma.



- Suggérez si ce spectre peut être expliqué par le modèle en (b). [2]

.....  
 .....

**B3.** Cette question porte sur la désintégration radioactive.

(a) La constante de désintégration pour un isotope particulier est  $\lambda = 0,048 \text{ s}^{-1}$ . Un échantillon de cet isotope contient initialement  $2,0 \times 10^{12}$  noyaux de cet isotope.

(i) Définissez *constante de désintégration*. [1]

.....  
.....

(ii) Estimez le nombre de noyaux qui se désintégreront pendant la première seconde. [1]

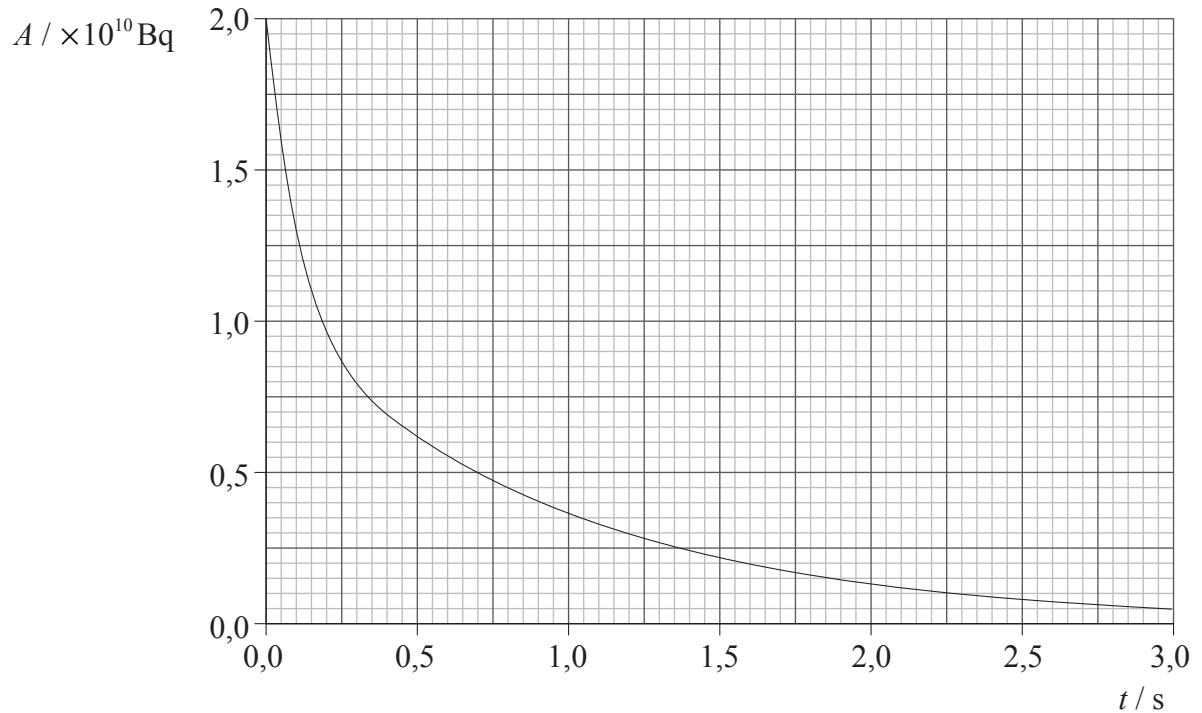
.....  
.....

*(Suite de la question à la page suivante)*



(Suite de la question B3)

- (b) Le graphique montre la variation en fonction du temps  $t$  de l'activité  $A$  d'un échantillon contenant une matière radioactive qui consiste en deux isotopes différents. Chaque isotope se désintègre en un isotope fille stable.



- (i) Utilisez le graphique pour expliquer comment on peut déduire que cet échantillon contient plus qu'un isotope. [2]

.....  
 .....  
 .....  
 .....

- (ii) Un des isotopes dans cet échantillon a une demi-vie qui est plus courte que 0,20 s. Utilisez le graphique pour estimer la demi-vie de l'autre isotope. Expliquez votre raisonnement. [2]

.....  
 .....  
 .....  
 .....



**Option C — Technologie numérique**

**C1.** Cette question porte sur le dispositif de transfert de charge (CCD).

- (a) La lumière venant d'un objet qui est incidente sur les pixels d'un CCD donne lieu à des différences de potentiel de part et d'autre de ces pixels. Résumez comment ces différences de potentiel sont utilisées pour produire une image de cet objet. [2]

.....  
 .....  
 .....

- (b) Le CCD d'un appareil photo numérique particulier a  $5,0 \times 10^6$  pixels et une surface de collecte de  $22 \text{ mm}^2$ . Une lumière d'une intensité de  $1,4 \text{ Wm}^{-2}$  est incidente sur la surface de collecte du CCD pendant un temps de 85 ms. L'énergie moyenne des photons de cette lumière incidente est  $3,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ . Le rendement quantique de ce CCD est 75 %.

- (i) Exprimez ce qu'on entend par rendement quantique. [1]

.....  
 .....

- (ii) Montrez que le nombre de photons incidents sur **un** pixel de ce CCD dans l'intervalle de temps de 85 ms est environ  $1,5 \times 10^6$ . [3]

.....  
 .....  
 .....  
 .....

- (iii) La capacité d'un pixel de ce CCD est 12 pF. Montrez que la différence de potentiel établie de part et d'autre de ce pixel est environ 15 mV. [2]

.....  
 .....  
 .....

- (iv) La tension en (b)(iii) est numérisée en un nombre binaire à quatre bits. Déterminez l'équivalent binaire de cette tension. [1]

.....  
 .....

*(Suite de la question à la page suivante)*



(Suite de la question C1)

- (c) On utilise maintenant des CCD détectant les rayons X pour le diagnostic médical. Exprimez l'avantage pour le patient d'un détecteur CCD de rayons X avec un rendement quantique élevé. [1]

.....  
.....  
.....

**C2.** Cette question porte sur le système de téléphonie mobile.

Dans le système de téléphonie mobile, une zone géographique particulière est divisée en un certain nombre de cellules avec une station de base dans chaque cellule, chacune étant connectée à un central téléphonique cellulaire.

Décrivez la fonction des stations de base et du central téléphonique cellulaire. [4]

Stations de base :

.....  
.....  
.....

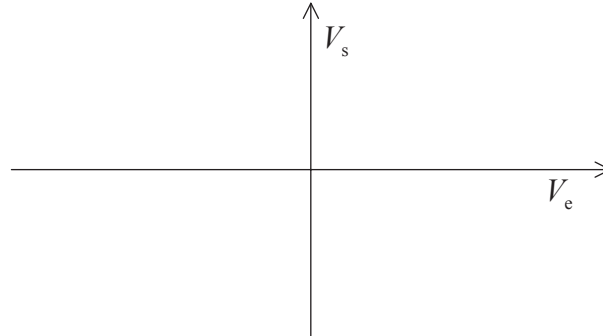
Central téléphonique cellulaire :

.....  
.....  
.....

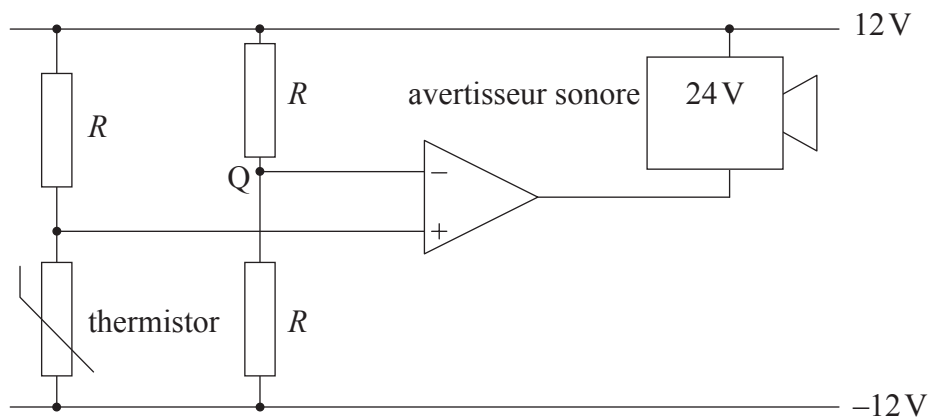


**C3.** Cette question porte sur l'amplificateur opérationnel.

- (a) Sur les axes ci-dessous, dessinez un graphique esquissé pour montrer la variation, en fonction de la tension d'entrée  $V_e$ , de la tension de sortie  $V_s$  d'un amplificateur opérationnel non inverseur. [2]



- (b) Un dispositif d'avertissement de température utilise un avertisseur sonore qui retentit lorsque la différence de potentiel à ses bornes est 24V. Le circuit dans ce dispositif d'avertissement est montré.



Il faut que cet avertisseur sonore retentisse lorsque la température du thermistor s'élève au-dessus de  $50^\circ\text{C}$ .

- (i) Exprimez la tension au point Q. [1]

.....

- (ii) À une température de  $50^\circ\text{C}$ , la résistance du thermistor est  $R$ . Expliquez pourquoi l'avertisseur sonore retentira lorsque la température du thermistor s'élèvera au-dessus de  $50^\circ\text{C}$ . [3]

.....  
 .....  
 .....  
 .....



**Option D — Relativité et physique des particules**

**D1.** Cette question porte sur la cinématique relativiste.

- (a) Exprimez ce qu'on entend par longueur propre et par intervalle de temps propre. [2]

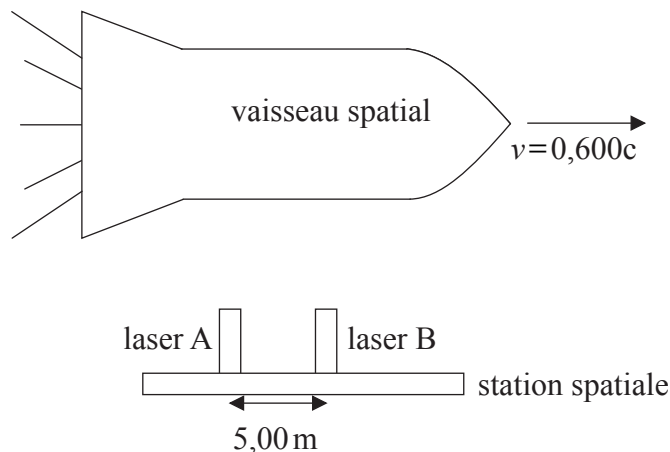
Longueur propre : .....

.....

Intervalle de temps propre : .....

.....

- (b) Un vaisseau spatial se déplace avec une vitesse  $v=0,600c$  par rapport à une station spatiale. Deux lasers, A et B, sur cette station spatiale sont écartés d'une distance de 5,00m telle que mesurée par des observateurs de la station spatiale. Le facteur gamma pour une vitesse de  $v=0,600c$  est  $\gamma=1,25$ .



- (i) Un signal radio est envoyé au vaisseau spatial depuis la station spatiale. La transmission dure 6,00s selon les horloges de la station spatiale. Calculez la durée de la transmission selon les observateurs du vaisseau spatial. [2]

.....

.....

.....

- (ii) Calculez la distance entre les lasers A et B selon les observateurs du vaisseau spatial. [2]

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)





(Suite de la question D1)

- (c) Les lasers en (b) sont allumés **simultanément** selon les observateurs de la **station spatiale**. La lumière émise par chaque laser fait une marque sur le vaisseau spatial. Les observateurs du vaisseau spatial mesurent la distance entre les deux marques comme étant 6,25 m. Selon les observateurs du vaisseau spatial

- (i) exprimez quel laser a été allumé en premier. [1]

.....

- (ii) déterminez la différence de temps entre les allumages des deux lasers. [2]

.....

.....

.....

.....



**D2.** Cette question porte sur les quarks.

Le tableau ci-dessous donne la charge électrique des trois quarks les plus légers en termes de  $e$ , la charge du proton.

Saveur de quark	haut ( <i>up</i> ) u	bas ( <i>down</i> ) d	étrange ( <i>strange</i> ) s
Charge électrique / $e$	$\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$

(a) En utilisant les données dans le tableau, déterminez

- (i) la teneur en quarks d'un méson avec une charge  $+1$  et une étrangeté  $0$  et celle d'un baryon avec une charge  $-1$  et une étrangeté  $-3$ . [2]

Méson : .....

Baryon : .....

- (ii) les valeurs de spin possibles du méson en (a)(i). [1]

.....

(b) Exprimez le principe d'exclusion de Pauli. [1]

.....  
.....

(c) Expliquez comment le baryon avec une teneur en quarks  $uuu$  et un spin  $\frac{3}{2}$  ne violent pas le principe d'exclusion de Pauli. [1]

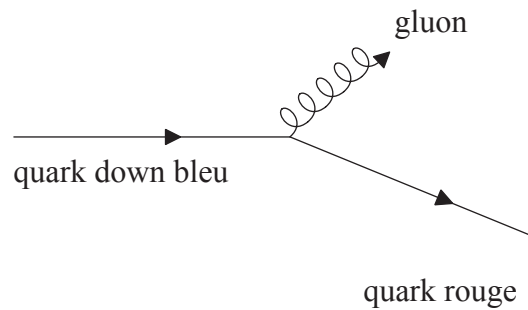
.....  
.....

(Suite de la question à la page suivante)



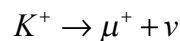
(Suite de la question D2)

- (d) Dans le diagramme de Feynman montré, un quark down bleu émet un gluon et produit un quark rouge.



Déduisez

- (i) la saveur (le type) du quark produit. [1]  
 .....
- (ii) les nombres quantiques de couleur du gluon émis. [1]  
 .....
- (e) Le kaon positif  $K^+$  (teneur en quarks  $u\bar{s}$ ) se désintègre en un antimuon et un neutrino selon la réaction ci-dessous.



Expliquez comment on peut déduire que cette désintégration est un processus d'interaction faible. [1]

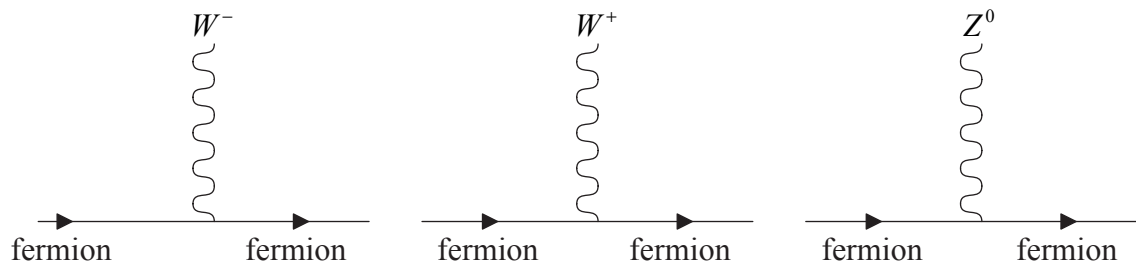
.....  
 .....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question D2)

- (f) Le schéma montre trois des vertex d'interaction pour l'interaction faible.



En utilisant le vertex approprié, dessinez un diagramme de Feynman pour la désintégration  $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$  en légendant toutes les particules impliquées.

[3]



**Option E — Astrophysique**

**E1.** Cette question porte sur la densité de population relative des étoiles et des galaxies.

Le nombre d'étoiles autour du Soleil, à une distance maximum de 17 al, est 75. Le nombre de galaxies dans le groupe local, à une distance maximum de  $4,0 \times 10^6$  al du Soleil, est 26.

(a) Calculez la densité de population moyenne, par  $\text{al}^3$ , des étoiles et des galaxies. [2]

Étoiles : .....

.....

.....

Galaxies : .....

.....

.....

(b) Utilisez votre réponse à la question (a) pour déterminer le rapport

$\frac{\text{densité de population moyenne des étoiles}}{\text{densité de population moyenne des galaxies}}$  [1]

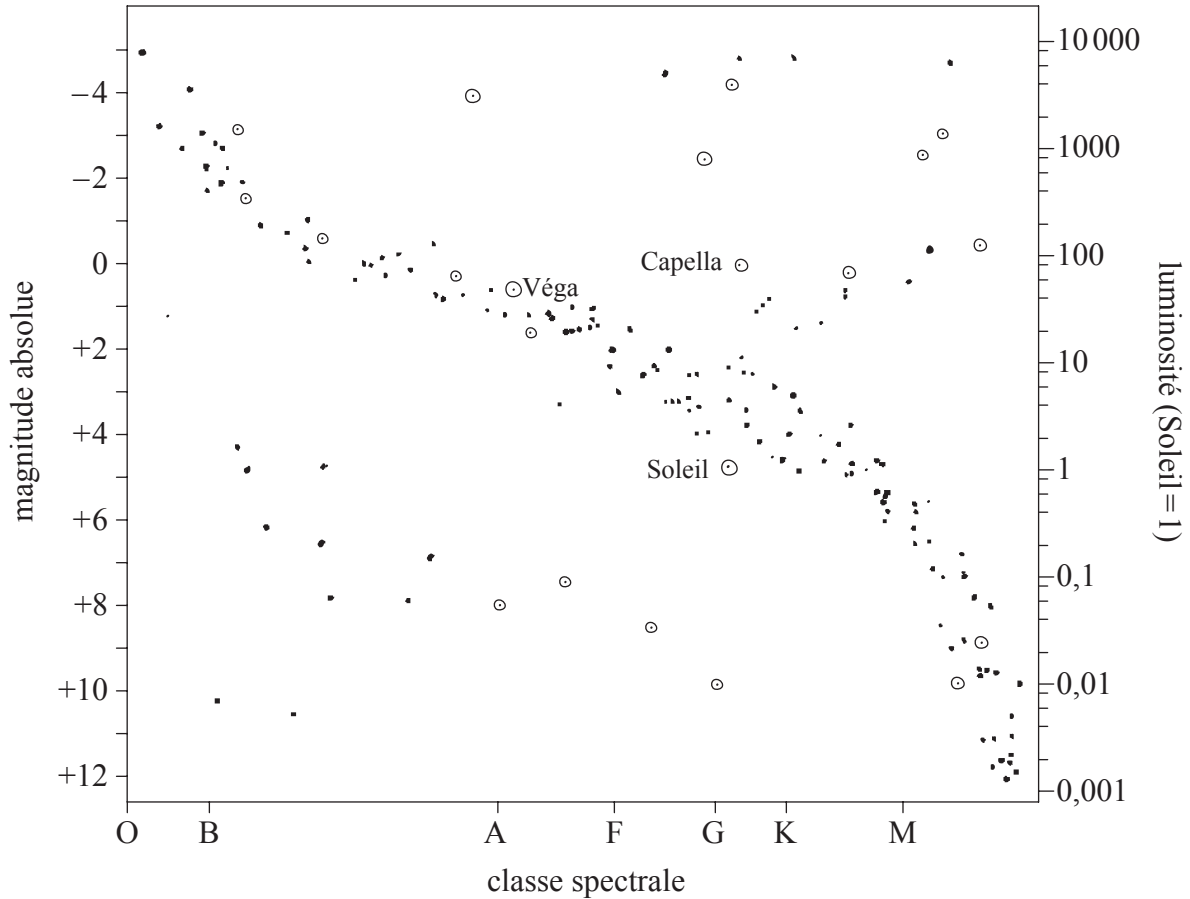
.....

.....



**E2.** Cette question porte sur la luminosité, la taille et la distance des étoiles.

Le diagramme de Hertzsprung–Russell (HR) montre la variation de la magnitude absolue des étoiles en fonction de la classe spectrale.



L'étoile Capella et le Soleil sont dans la même classe spectrale (G). En utilisant le diagramme HR,

(a) (i) suggérez pourquoi Capella a une plus grande aire de surface que le Soleil. [2]

.....

.....

.....

.....

(ii) estimez la luminosité de Capella en termes de celle du Soleil. [1]

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question E2)

- (iii) calculez le rayon de Capella en termes de celui du Soleil. [2]

.....

.....

.....

.....

- (b) On peut utiliser la méthode de la parallaxe spectroscopique pour mesurer la distance de l'étoile Véga.

- (i) En utilisant le diagramme HR, exprimez la magnitude absolue de Véga. [1]

.....

- (ii) La magnitude apparente de Véga est 0,0. Déterminez (en parsecs) la distance entre Véga et la Terre. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

- (iii) La lumière émise par Véga est absorbée par un nuage de poussière entre Véga et la Terre. Suggérez l'effet éventuel que cela aura sur la détermination de la distance entre Véga et la Terre. [2]

.....

.....

.....

- (c) Véga est une étoile très massive. Exprimez pourquoi Véga ne subit pas d'effondrement gravitationnel. [1]

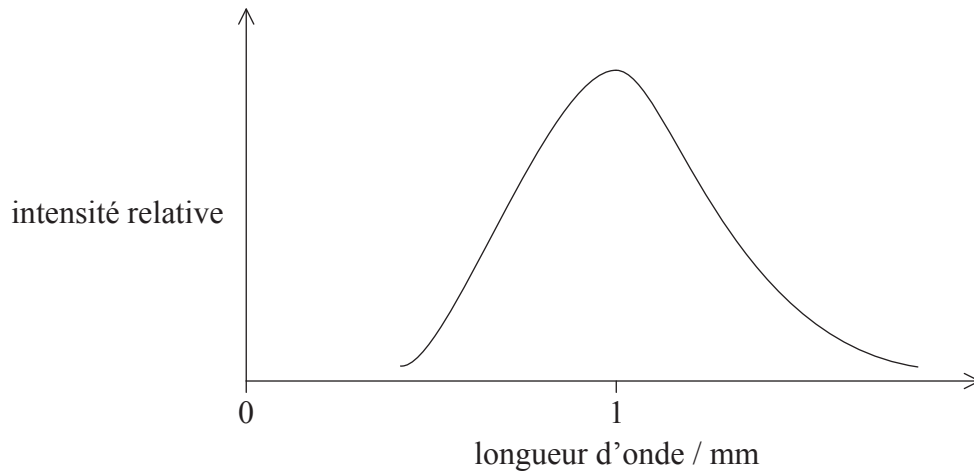
.....

.....



**E3.** Cette question porte sur le rayonnement fossile cosmique et sur la densité de l'univers.

Le graphique montre l'intensité relative du rayonnement fossile cosmique en fonction de longueur d'onde.



(a) Expliquez comment ce graphique est compatible avec le modèle du Big Bang de l'univers. [3]

.....

.....

.....

.....

.....

(b) La densité de l'univers déterminera son sort final. Résumez les problèmes associés à la détermination de la densité de l'univers. [2]

.....

.....

.....

.....

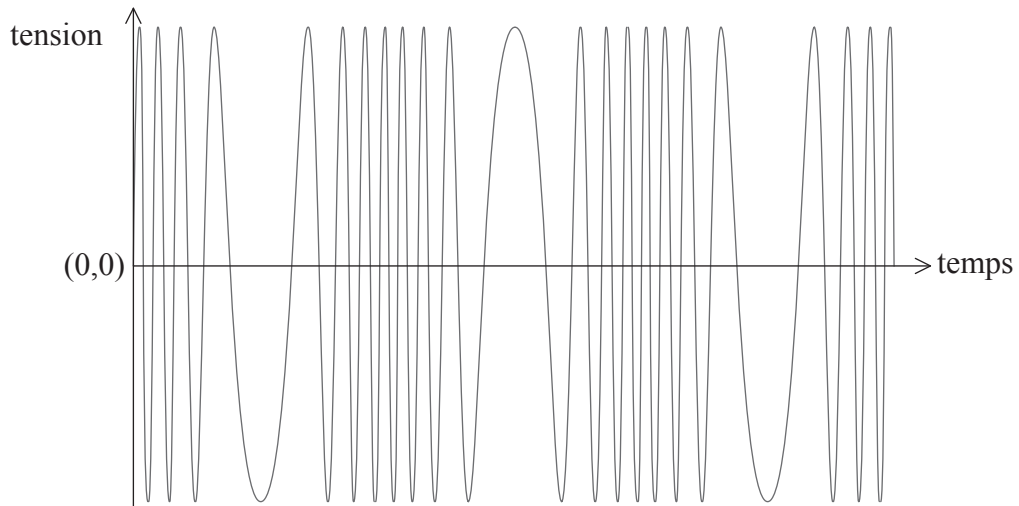




**Option F — Communication**

**F1.** Cette question porte sur la modulation.

- (a) Le diagramme montre comment le signal de tension d'une onde porteuse fréquence modulée (FM) varie en fonction du temps.



Cette onde porteuse est modulée par un signal monofréquence.

Sur les axes ci-dessus, esquissez le signal d'information.

[1]

- (b) Exprimez et expliquez **un** avantage de l'utilisation de la modulation FM plutôt que de la modulation d'amplitude (AM).

[2]

.....

.....

.....

.....

.....



**F2.** Cette question porte sur l'échantillonnage.

Un appel téléphonique est échantillonné avec une fréquence d'échantillonnage de 8,0 kHz. Chaque échantillon est stocké comme un nombre binaire à quatre bits. La durée de chaque bit dans cet échantillon est  $4,0\ \mu\text{s}$ .

- (a) Calculez l'intervalle de temps entre la fin d'un échantillon et le début de l'échantillon suivant. [3]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

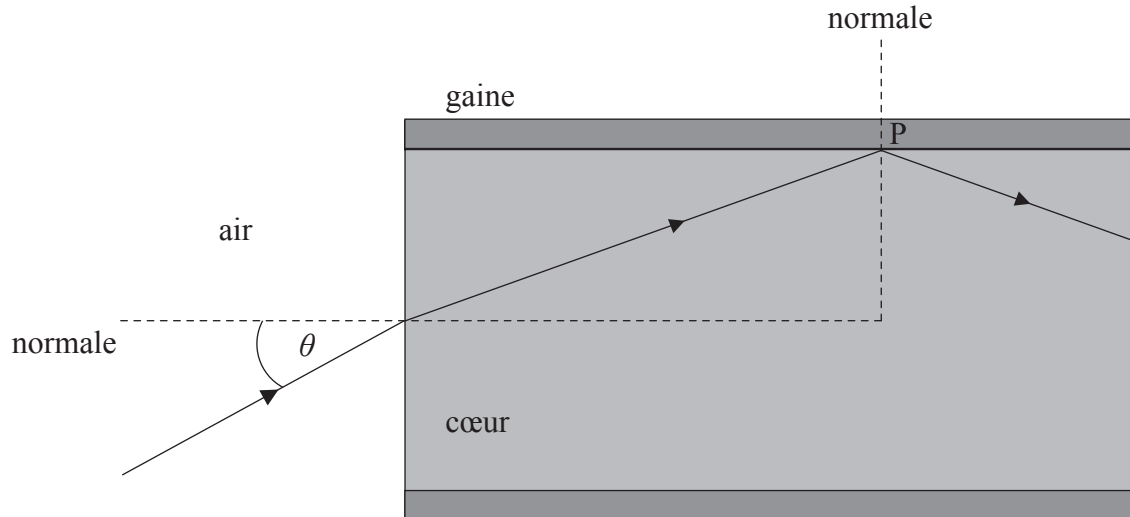
- (b) Résumez, en référence à votre réponse à la question (a), ce qu'on entend par multiplexage temporel. [2]

.....  
.....  
.....  
.....



**F3.** Cette question porte sur la transmission de signaux le long d'une fibre optique.

- (a) Un rayon de lumière pénètre dans une fibre optique depuis l'air. Ce rayon fait un angle  $\theta$  avec la normale. Ce rayon subit une réflexion interne totale au point P.



L'indice de réfraction du cœur est 1,56 et celui de la gaine est 1,38.

- (i) Calculez l'angle critique de la limite gaine-cœur. [2]

.....

.....

.....

.....

- (ii) Montrez que le plus grand angle d'incidence  $\theta$  dans l'air, auquel la réflexion interne totale à la limite gaine-cœur a lieu, est  $46,7^\circ$ . [2]

.....

.....

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question F3)

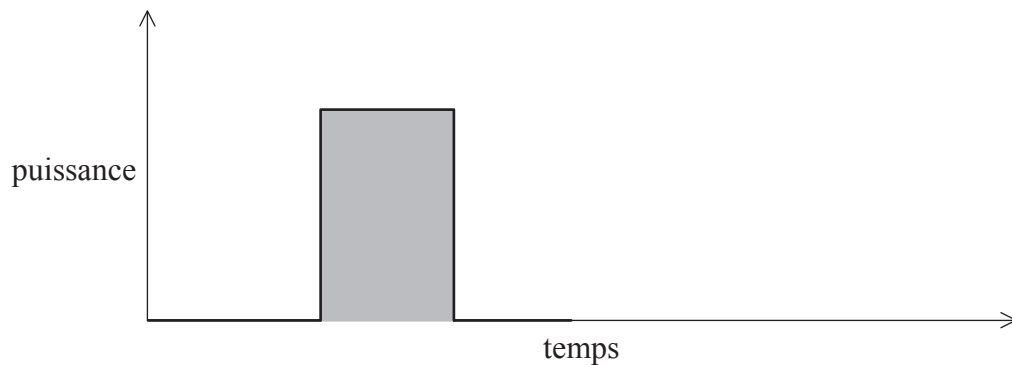
- (b) Distinguez entre dispersion modale et dispersion de matériau dans une fibre optique. [2]

.....

.....

.....

- (c) Le signal montré est envoyé dans une fibre optique monomode.



- (i) Exprimez ce que l'aire ombrée représente. [1]

.....

- (ii) Utilisez les axes ci-dessus pour dessiner la forme du signal après qu'il a parcouru une grande distance dans la fibre. [2]

- (iii) La puissance du signal d'entrée dans une fibre monomode est 15,0 mW. L'atténuation par unité de longueur pour cette fibre est  $1,24 \text{ dB km}^{-1}$ . Déterminez la puissance du signal de sortie après que le signal a parcouru une distance de 3,40 km dans la fibre. [3]

.....

.....

.....

.....

.....



**Option G — Ondes électromagnétiques**

**G1.** Cette question porte sur la lumière laser.

(a) Résumez comment la lumière laser est produite. [3]

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

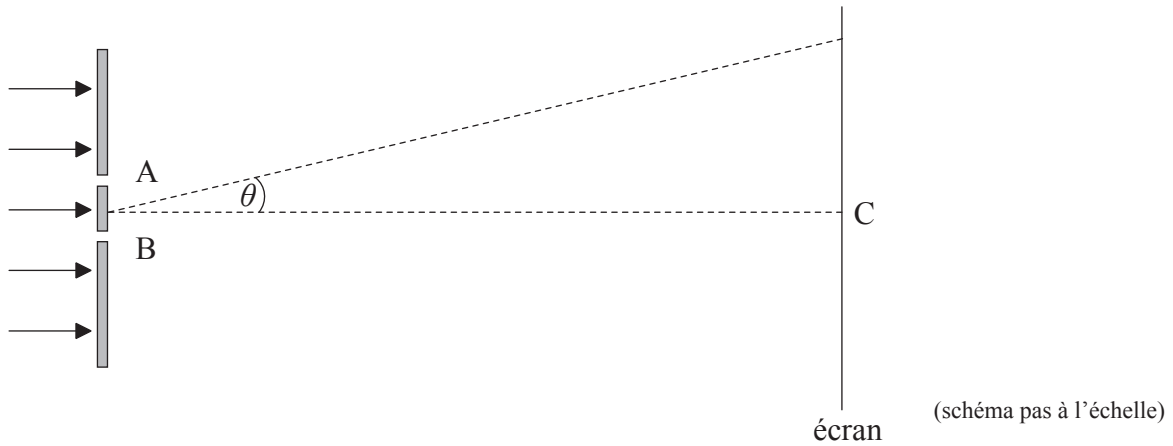
(b) Exprimez **deux** façons dont la lumière émise par un laser diffère de la lumière émise par une lampe à incandescence ordinaire. [2]

.....  
.....  
.....  
.....



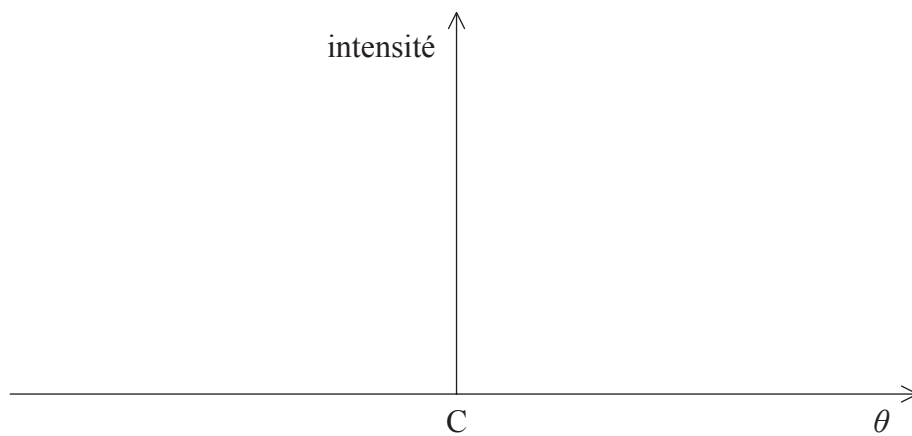
**G2.** Cette question porte sur l'interférence.

- (a) La lumière émise par un laser est incidente sur deux fentes très étroites A et B.



Le point C sur l'écran est juste en face du milieu des fentes.

- (i) Sur les axes ci-dessous, esquissez la variation, en fonction de l'angle  $\theta$ , de l'intensité de la lumière sur l'écran. [2]



- (ii) La séparation entre les fentes est  $0,120\text{ mm}$  et la longueur d'onde de la lumière est  $6,80 \times 10^{-7}\text{ m}$ . La distance entre les fentes et l'écran est  $1,40\text{ m}$ . Calculez la séparation entre les franges claires sur l'écran. [2]

.....

.....

.....

(Suite de la question à la page suivante)



(Suite de la question G2)

(b) La fente A est couverte d'un morceau de verre transparent. L'effet du verre est d'augmenter d'une demi-longueur d'onde la longueur de la trajectoire de la lumière entre la fente et l'écran. On peut supposer que la quantité de lumière absorbée par le verre est négligeable. Exprimez et expliquez le ou les effets éventuels du verre sur

(i) la courbe d'intensité que vous avez dessinée en réponse à la question (a)(i). [2]

.....  
.....

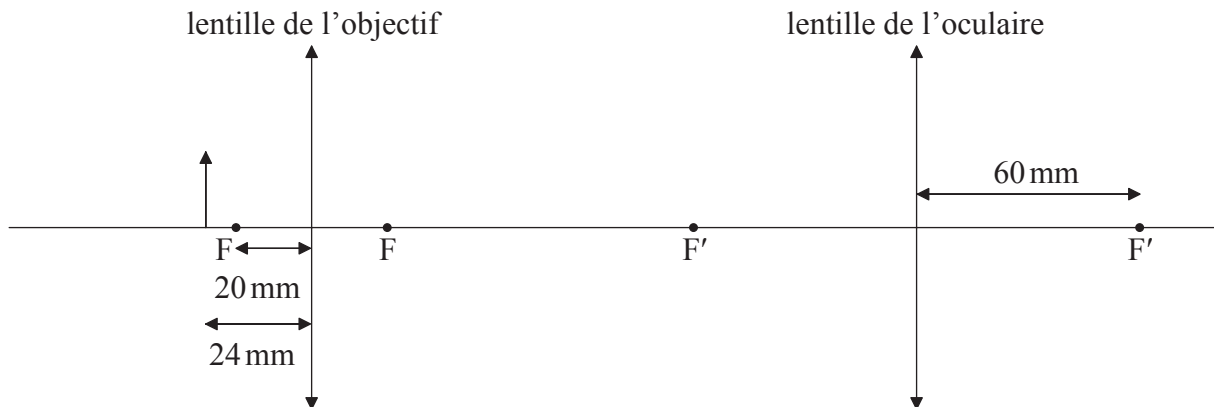
(ii) la séparation des franges claires calculées en réponse à la question (a)(ii). [2]

.....  
.....



**G3.** Cette question porte sur un microscope composé.

Le schéma (pas à l'échelle) représente un microscope composé.



La distance focale de la lentille de l'objectif est 20 mm et celle de l'oculaire est 60 mm. Un petit objet est placé à une distance de 24 mm de la lentille de l'objectif. Le microscope produit une image virtuelle finale de l'objet à une distance de 240 mm de la lentille de l'oculaire.

- (a) (i) Déterminez, par calcul, la distance de l'image formée par la lentille de l'objectif par rapport à la lentille de l'objectif. [2]
- .....
- .....
- .....
- (ii) Expliquez pourquoi l'image en (a)(i) est réelle. [1]
- .....
- .....
- (iii) Déterminez la distance de l'image formée par la lentille de l'objectif par rapport à la lentille de l'oculaire. [2]
- .....
- .....
- .....
- (b) Déterminez le grossissement total du microscope. [2]
- .....
- .....
- .....

