

Professeur : Marc de Montigny

Examen final : mardi 14 décembre, de 14 h à 17 h

Matériel : aide-mémoire (distribué), calculatrice et cahier d'examen (fourni)

Remarque : Vous pouvez accumuler un maximum de 40 points sur les 48 points disponibles.

**Question 1. [Maximum de 4.5 points] Système masse-ressort.**

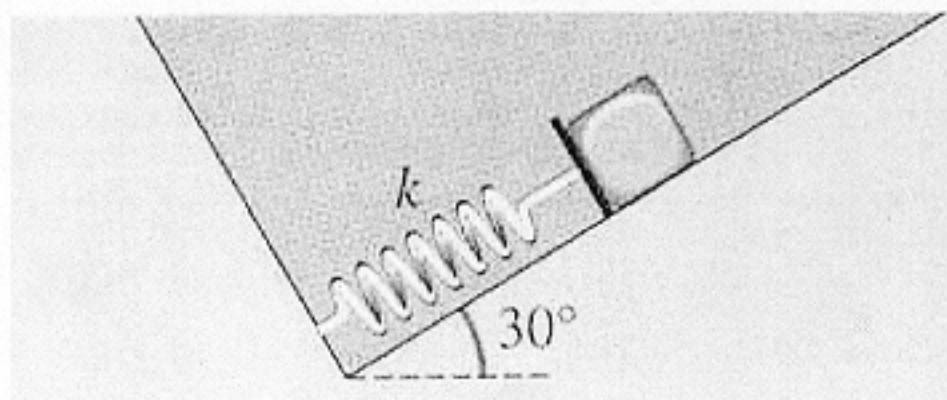
La position d'un bloc de 500 grammes attaché à un ressort est décrite par :

$$x(t) = 4 \cos(6t) \text{ cm}$$

où  $t$  est en secondes. Déterminez : (a) l'amplitude d'oscillation; (b) la constante du ressort  $k$ ; (c) la vitesse maximale du bloc; (d) la période d'oscillation  $T$ ; et (e) les trois premiers instants  $t > 0$  auxquels  $x(t) = 2$  cm avec la vitesse  $v(t)$  positive.

**Question 2. [Maximum de 3.5 points] Énergie mécanique totale.**

Un bloc de 200 grammes est appuyé contre un ressort de constante  $k = 16$  N/m incliné à  $30^\circ$  (figure ci-dessous). Le coefficient de frottement est  $\mu_c = 0.1$  et le ressort est initialement comprimé de 25 cm. On relâche le bloc. Quelle est sa vitesse au moment où il passe par la position d'équilibre du ressort?



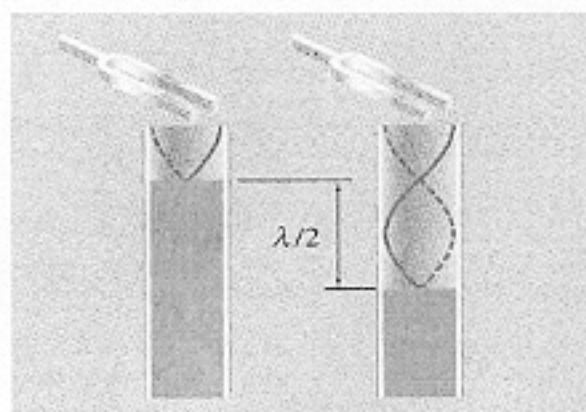
**Question 3. [Maximum de 3.5 points] Ondes stationnaires transversales.**

Expliquez pourquoi les touches (en anglais, "frets") d'une guitare ne sont pas à égale distance, mais plutôt de plus en plus collées vers la région où la corde est frappée. Par

exemple, vous pouvez expliquer ce qui se passe quand on joue des octaves en série, c.-à-d. quand on double la fréquence successivement.

**Question 4. [Maximum de 2.0 points] Ondes stationnaires dans un tuyau.**

On place un diapason de fréquence 440 Hz à l'extrémité ouverte d'un tube, tel qu'illustré ci-dessous. Si l'on fait baisser le niveau d'eau, quelles sont la première et la deuxième longueurs  $L$  auxquelles la colonne d'air résonne? Prenez la vitesse du son égale à 340 m/s.



**Question 5. [Maximum de 3.0 points] Intensité sonore.**

Si une seule personne crie dans les gradins d'un stade, l'intensité perçue au centre du terrain vaut 50 décibels. Quelle est l'intensité en décibels lorsque 20 000 personnes crient environ à la même distance?

**Question 6. [Maximum de 2.0 points] Miroirs sphériques.**

Un miroir convexe a un rayon de courbure de 48 cm. Où se trouve l'objet, sachant que l'image est droite et que sa taille vaut le tiers de celle de l'objet?

**Question 7. [Maximum de 3.5 points] Réfraction.**

Un plongeur situé à 3 m sous la surface de l'eau ( $n_{\text{eau}} = 1.33$ ) dirige un faisceau lumineux selon un angle de  $60^\circ$  avec l'horizontale. Dans une barque, un peu plus loin, se trouve une autre personne dont les yeux sont à 1 m au-dessus de la surface. À quelle distance horizontale du plongeur cette personne doit-elle se trouver pour voir la lumière du faisceau? Prenez  $n_{\text{air}} = 1.00$ .

**Question 8. [Maximum de 3.5 points] Combinaison de lentilles.**

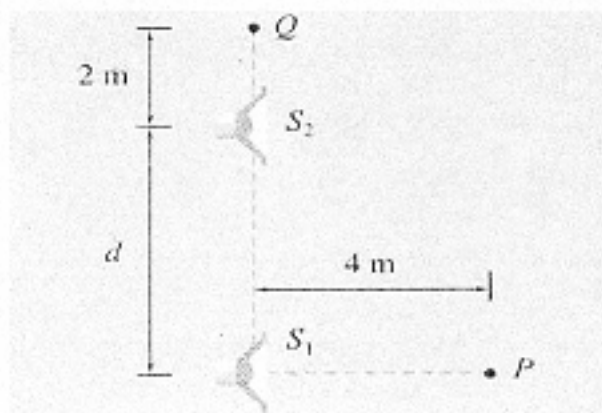
Une lentille convergente, dont le foyer se trouve à 4 cm, et une lentille divergente, avec le foyer à 2 cm, sont à 12 cm l'une de l'autre. Un objet se trouve à 8 cm devant la lentille convergente. Déterminez : (a) la position; (b) le grossissement; et (c) le sens (c.-à-d. droite ou renversée) de l'image finale.

**Question 9. [Maximum de 3.0 points] Oeil et lentille correctrice.**

(a) Une personne myope ne peut voir clairement au-delà de 75 cm. Calculez la puissance, en dioptries, de lentilles de contact nécessaire pour qu'elle puisse voir à l'infini. (b) Une autre personne ne peut voir clairement qu'à partir de 80 cm. Quelle puissance de verre de contact permettra à cette personne de bien voir à 25 cm?

**Question 10. [Maximum de 3.5 points] Principe de superposition.**

Deux haut-parleurs  $S_1$  et  $S_2$  sont à une distance  $d$  l'un de l'autre, tel qu'illustré ci-dessous. Ils émettent un son de fréquence  $f = 95$  Hz en phase. Quelle est la valeur minimale de  $d$  pour laquelle l'intensité est nulle : (a) au point  $P$ ; (b) au point  $Q$ ? Prenez la vitesse du son égale à 340 m/s.



**Question 11. [Maximum de 2.5 points] Interférence de Young.**

Dans l'expérience à deux fentes de Young avec de la lumière de longueur d'onde 490 nm, la frange brillante du 6ième ordre (c.-à-d.  $m = 6$ ) est à 38 mm de la frange centrale sur un écran situé à 2.2 m des fentes. Quelle est la distance séparant les fentes? Utilisez l'approximation  $\sin \theta \approx \tan \theta$ .



**Question 12. [Maximum de 2.5 points] Pellicules minces.**

Une fine couche d'huile ( $n_{\text{huile}} = 1.22$ ) flottant sur de l'eau ( $n_{\text{eau}} = 1.33$ ) réfléchit en la renforçant la longueur d'onde de 566 nm lorsqu'elle est éclairée par de la lumière blanche. Quelle est l'épaisseur minimale de cette pellicule? Pour l'air qui gît au-dessus de l'huile, prenez  $n_{\text{air}} = 1.00$ .

**Question 13. [Maximum de 4.0 points] Diffraction par une fente.**

De la lumière de longueur d'onde 680 nm tombe perpendiculairement sur une fente de largeur 0.06 mm. On observe la figure ainsi produite sur un écran situé à 1.8 m. Calculez : (a) la largeur en cm du pic central sur l'écran; et (b) la distance en cm sur l'écran entre les minima de premier et de deuxième ordre (c.-à-d.  $m = 1$  et 2). Il peut être utile de considérer  $\sin \theta \approx \tan \theta$ .

**Question 14. [Maximum de 3.5 points] Critère de Rayleigh.**

Un astronaute en orbite est à une altitude de 280 km au-dessus de la surface de la Terre. Dans des conditions idéales, si le rayon de sa pupille est de 2.5 mm et que la longueur d'onde est de 550 nm, quelle distance doit-il y avoir entre deux points à la surface terrestre pour que l'astronaute puisse les distinguer?

**Question 15. [Maximum de 3.5 points] Interférence et diffraction.**

Dans l'expérience à deux fentes de Young, la largeur de chaque fente implique que le phénomène de diffraction se combine à la figure d'interférence, de sorte que les minima de diffraction annihilent certains maxima d'interférence. Considérez deux fentes séparées de 1 mm, et chacune large de 0.25 mm. (a) Quels maxima d'interférence seront absents de la figure obtenue? (b) Combien de maxima d'interférence sont visibles dans le maximum central de diffraction?

**BONNES VACANCES!**



# PHYSQ 124: Particules et ondes.

Aide-mémoire pour l'examen final du 14 décembre 2004.

$$f_c = \mu_c N \quad W = Fd \cos \theta \quad \Delta U \equiv -W_C$$

$$U_{\text{grav}} = mgh \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad U_{\text{ress}} = \frac{1}{2} kx^2 \quad E = K + U$$

$$\Delta E = \Delta K + \Delta U = W_{\text{NC}} \quad E_f = E_i + W_{\text{NC}} \quad K = \frac{1}{2} mv^2$$

$$F = -kx \quad \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} kA^2 = \frac{1}{2} mv_{\text{max}}^2$$

$$x = A \cos(\omega t) \quad v = -\omega A \sin(\omega t) \quad a = -\omega^2 A \cos(\omega t)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad \log(ab) = \log a + \log b \quad \log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b$$

$$v = \lambda f \quad T = \frac{1}{f} \quad \omega = 2\pi f$$

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad I = I_0 10^{\beta/10} \quad I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$f' = \frac{v \pm v_O}{v \mp v_S} f \quad v = \sqrt{\frac{F}{m/L}} \quad v \approx 20 \sqrt{T[^\circ K]} \text{ m/s}$$

$$f_n = \frac{nv}{2L} \quad f_n = \frac{nv}{4L} \quad f = \frac{1}{2} R$$

$$\delta = m\lambda \quad \delta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \delta = d \sin \theta \quad \delta = 2t$$

$$\theta_i = \theta_r \quad \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \quad m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}$$

$$n = c/v \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

$$P = \frac{1}{f} \quad \lambda_n = \frac{\lambda}{n} \quad W \sin \theta = m\lambda \quad d \sin \theta = m\lambda$$

$$D \sin \theta = 1.22\lambda \quad \theta_{\text{min}} \approx 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad \tan \theta = \frac{y}{L}$$

# #1. Systeme MASSE-RESSORT

(a)  $A = 4 \text{ cm}$ ;

(b)  $k = m\omega^2 = (0.5)(6)^2 = 18 \text{ N/m}$ ;

(c)  $v(t) = -\omega A \sin(\omega t)$ .  $v_{\text{MAX}} = \omega A = (6)(4) = 24 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

(d)  $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{6} = \frac{\pi}{3}$

(e)  $2 = 4 \cos(6t)$

$\cos(6t) = +\frac{1}{2}$

$\sin(6t) < 0$

mit  $v(t) = -24 \sin(6t) \text{ cm/s} > 0$



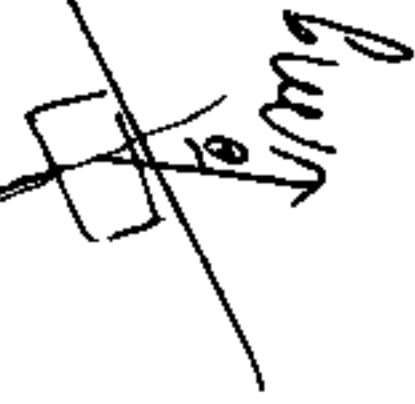
$6t = \frac{\pi}{3}, \frac{11\pi}{3}, \frac{17\pi}{3}$

$t = 0.8730, 1.924, 2.974$

## #2. ÉNERGIE MÉCANIQUE TOTALE :

$$\Delta K + \Delta U_g + \Delta U_R = W_{nc} \quad \Delta K = \frac{1}{2} m v^2, \quad \Delta U_g = -mg d \sin \theta, \quad \Delta U_R = -\frac{1}{2} k d^2$$

$$N = mg \cos \theta$$



$$W_{nc} = -f_c d = -\mu_c mg \cos \theta d$$

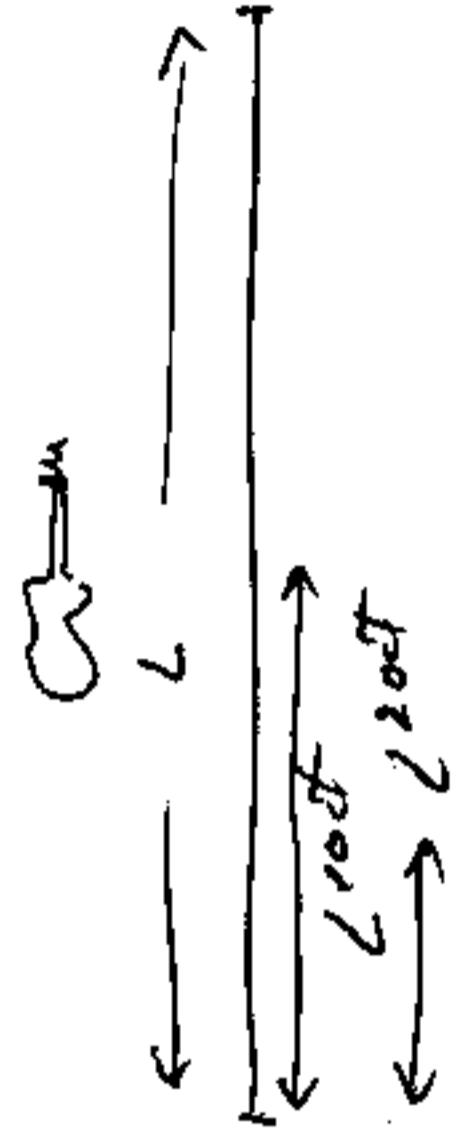
$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} k d^2 - mg d (\sin \theta + \mu_c \cos \theta)$$

$$v = \sqrt{\frac{k}{m} d^2 - 2g d (\sin \theta + \mu_c \cos \theta)}$$

$$= \sqrt{\frac{16}{0.2} (0.25)^2 - 2(9.8)(0.25) (\sin 30^\circ + (0.1) \cos 30^\circ)}$$

$$= \boxed{1.46 \text{ m/s}}$$

### # 3. Ondes stationnaires sur une corde:



$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

un octave plus haut  $f_2 = 2f_1$  ;  $L_{100} = \frac{v}{2f_1} = \frac{v}{2(2f_1)} = \frac{L}{2}$

deux octave plus haut:  $f_3 = 2f_2 = 4f_1$  ;  $L_{200} = \frac{v}{2(4f_1)} = \frac{L}{4}$  ; etc.

Donc, pour des écarts égaux de notes, L ne varie pas également.

### # 4. Ondes stationnaires dans un tuyau :

tuyau fermé, donc  $f_n = \frac{nv}{4L}$

$$L = \frac{nv}{4f_n} = \frac{n(340 \text{ m/s})}{4(440 \text{ Hz})} = \frac{19.3 \text{ cm}}{n=1}, \frac{58.0 \text{ cm}}{n=3}$$

### # 5. Intensité sonore

Soit  $I = 20000 I_0$  où  $I_0$  est pour 1 personne,

C.-à-d.  $L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 50 \text{ dB}$ .

$$L_{20000} = 10 \log \frac{20000 I_1}{I_0} = \underbrace{10 \log 20000}_{50 \text{ dB}} + \underbrace{10 \log \frac{I_1}{I_0}}_{= 93 \text{ dB}} = 143$$



## #6. Miroirs SPHÉRIQUES

CONVEXE :  $f$  NÉGATIF  $R = 48 \text{ cm}$  :  $f = -\frac{R}{2} = -24 \text{ cm}$

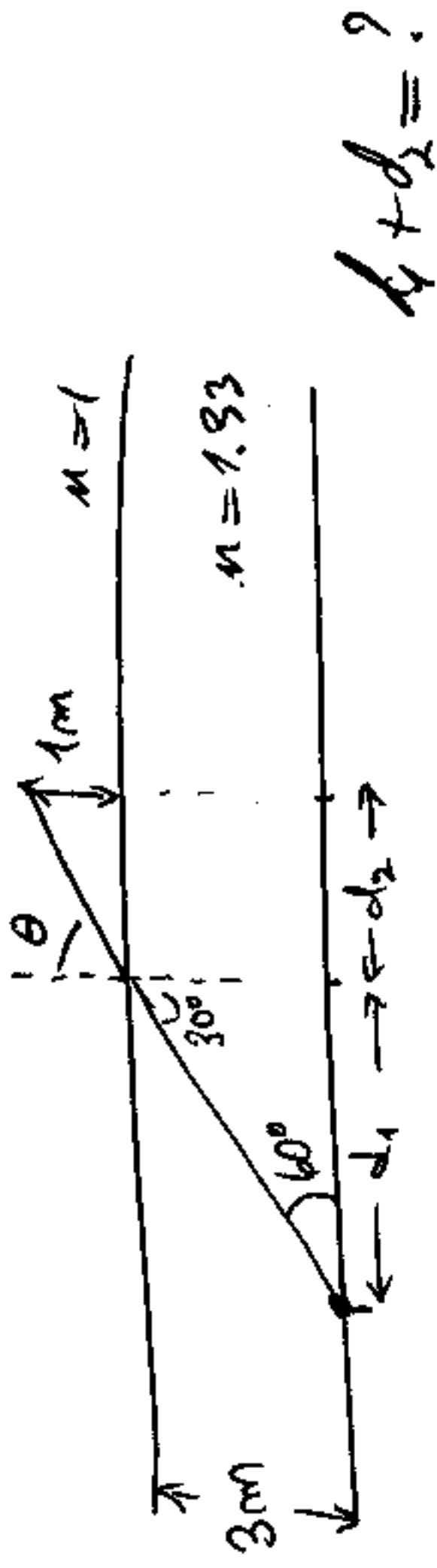
$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \quad M = +\frac{1}{3} = -\frac{d_i}{d_o} \quad d_i = -\frac{d_o}{3}$$

$$\frac{1}{d_o} - \frac{3}{d_o} = \frac{1}{-24}$$

$$\boxed{d_o = 48 \text{ cm}}$$

$$-\frac{2}{d_o}$$

## #7. REFRACTION



$$\tan 60^\circ = \frac{3}{d_1} ; d_1 = \frac{3}{\tan 60^\circ} ; \tan \theta = \frac{d_2}{1}$$

ATTENTION, PAS  $60^\circ$ !

$$(1) \sin \theta = 1.33 \sin 30^\circ \quad \theta \sim 41.68^\circ$$

$$d_1 + d_2 = \frac{3}{\tan 60^\circ} + \tan(\arcsin(1.33 \sin 30^\circ)) \approx \boxed{2.62 \text{ m}}$$

## # 8. COMBINAISON DE LENTILLES

$$\frac{1}{d_{o2}} + \frac{1}{d_{i1}} = f_1^{-1} \quad d_{o1} = 8 \text{ cm et } f_1 = +4 \text{ cm}$$

$$d_{i1} = (f_1^{-1} - d_{o1}^{-1})^{-1} = (4^{-1} - 8^{-1})^{-1} = 8 \text{ cm, donc, à } 4 \text{ cm}$$

devant la seconde lentille, dont  $f_2 = -2 \text{ cm}$ .

$$d_{i2} = (f_2^{-1} - d_{o2}^{-1})^{-1} = ((-2)^{-1} - 4^{-1})^{-1} = -1.33 \text{ ou } -\frac{4}{3} \text{ cm}$$

$$m_1 = -\frac{d_{i1}}{d_{o1}} = -\frac{8}{8} = -1; \quad m_2 = -\frac{d_{i2}}{d_{o2}} = -\frac{(-4/3)}{+4} = \frac{1}{3}$$

$$m_{\text{tot}} = m_1 m_2 = -\frac{1}{3}$$

(a) À 1.33 cm à gauche de la lent. DIVERGENTE

(b)  $|m| = \frac{1}{3}$  Réducteur

RENVERSÉE

;

(c)

## #9. LENTILLE CORRECTIVE

(a)  $P$  [en D] =  $\frac{1}{f$  [en m]} =  $\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$  AVEC  $d_o \rightarrow \infty$   
 $d_i = -0.75$  m  $\leftarrow$  CAR L'IMAGE EST DEVANT LA LENTILLE.

$$P = \frac{1}{\infty} - \frac{1}{0.75} = \boxed{-1.33 \text{ D}}$$

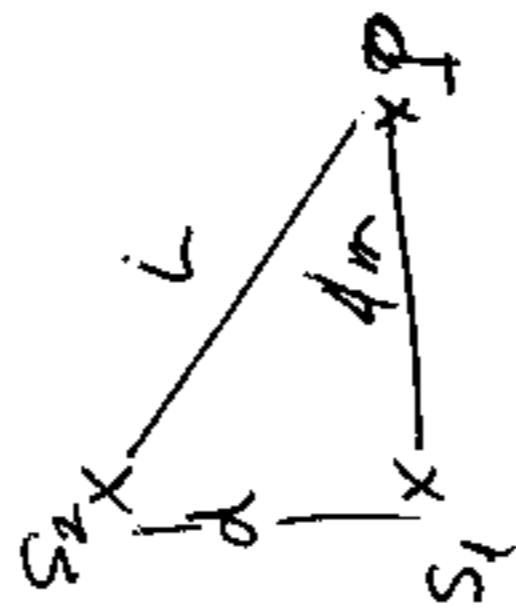
(b)  $d_o = 0.25$  m ET  $d_i = -0.80$  m

$$P = \frac{1}{0.25} - \frac{1}{0.80} = \boxed{2.75 \text{ D}}$$

## #10. Principe de superposition

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{95 \text{ /s}} = 3,578947368 \text{ m}$$

(a) Au Point P  $f = \lambda - 4 = (m + \frac{1}{2}) \lambda$  pour un minimum.



$$\sqrt{d^2 + 4^2} = 0,5 \lambda$$

$$d^2 = (8 + 4)^2 - 4^2; \quad d = \sqrt{(0,5 \lambda + 4)^2 - 16} = 4,19 \text{ m}$$

(b) Au Point Q

$$d = d = \frac{\lambda}{2} = 1,79 \text{ m}$$

$$d = m \frac{\lambda}{2}$$

$$d \sin \theta = m \lambda$$

or

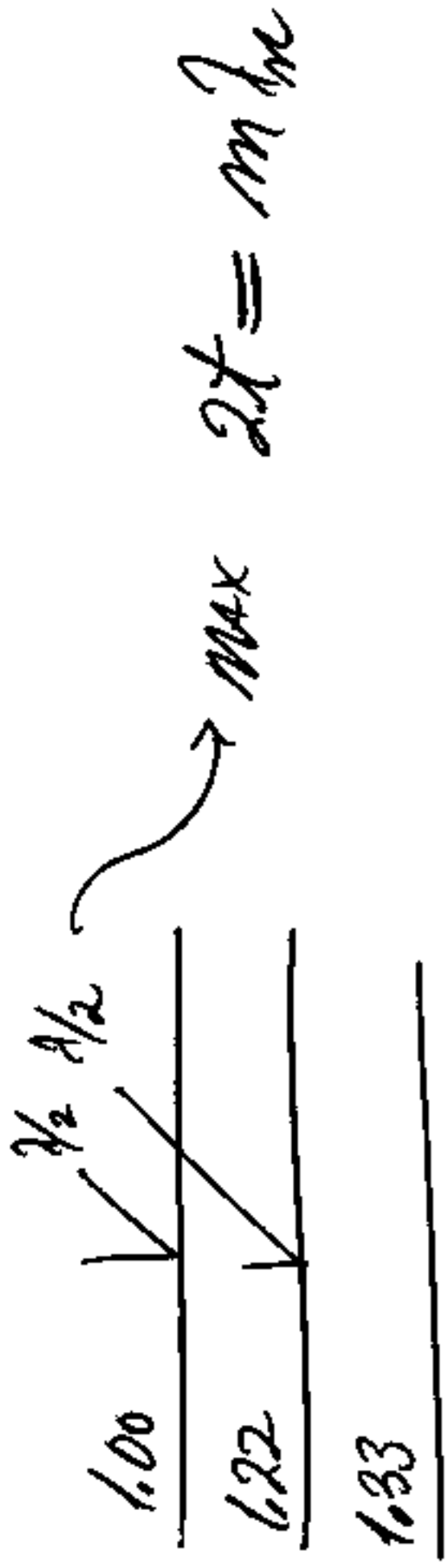
$$d = 1,7 \times 10^{-4} \text{ m}$$

## #11. INTERFERENCE DE YOUNG:

$$d = \frac{(6)(490 \times 10^{-9} \text{ m})(2,2 \text{ m})}{38 \times 10^{-3} \text{ m}} = 1,7 \times 10^{-4} \text{ m}$$



## # 12. RELIQUES MINUES

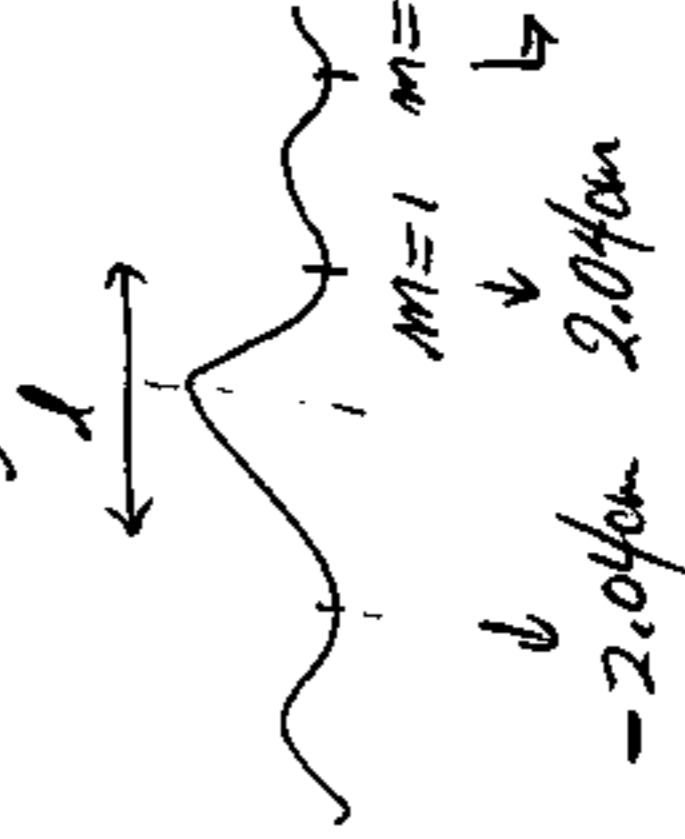


$$\lambda = 566 \text{ nm} = 5.66 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$t = \frac{m\lambda}{2n} = \frac{(1)(5.66 \times 10^{-7} \text{ m})}{2(1.22)} = \boxed{232 \text{ nm}}$$

## # 13. DIFFRACTION

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad \sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L}$$



$$(a) y = \frac{m\lambda L}{W}$$

$$\text{LARGER } L = 2y = \frac{2(1)(6.8 \times 10^{-7} \text{ m})(1.8 \text{ m})}{6 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

$$= \boxed{4.08 \text{ cm}}$$

$$(b) \text{ Deuxième min (} m=2) \quad y = \frac{2(6.8 \times 10^{-7} \text{ m})(1.8 \text{ m})}{6 \times 10^{-5} \text{ m}} = 4.08 \text{ cm}$$

$$\text{Entre } m=1 \text{ et } m=2, \text{ il y a } 4.08 - 2.04 = \boxed{2.04 \text{ cm}}$$

## #14. CRITÈRE DE RAYLEIGH.

$$D \sin \theta = 1.22 \lambda \quad \tan \theta = \frac{y}{h}$$
$$D = \text{diamètre} = 2 (2.5 \text{ mm})$$
$$= 5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$y = L \tan \theta = L \tan \left( \arcsin \left( \frac{1.22 \lambda}{D} \right) \right)$$

$$= 280000 \tan \left( \arcsin \left( \frac{1.22 (5.5 \times 10^{-7} \text{ m})}{5 \times 10^{-3} \text{ m}} \right) \right)$$

$$= \boxed{37.6 \text{ m}}$$

## #15. Interférence et diffraction combinées

(a) L'ordre  $m_1$  d'interférence est annulé par un minimum de diffraction lorsque l'angle  $\theta$  dans  $d \sin \theta = m_1 \lambda$  est le même que dans  $W \sin \theta = m_2 \lambda$  ( $m_2$ -ième min de diffraction).

$$d \sin \theta = m_1 \lambda = \frac{m_1 \lambda}{W} ; \quad \frac{m_1}{W} = \frac{d}{0.25 \text{ mm}} = 4$$

LES MAX ABSENTS SONT DONC  $m_1 = 4m_2 = 4, 8, 12, \dots$

(b) PREMIER MAX ABSENT à  $m_1 = 4$  et  $-4$ , PAR SYMÉTRIE. DANS LE CENTRE il y a donc  $m_2 = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 \Rightarrow$  **SEPT MAXIMA**