Devoir Surveillé

Correction – Physique-chimie – DS 1

I Questions courtes

1 - $v = c/n$ avec c la célérité dans le vide et v celle dans le milieu d'indice n.

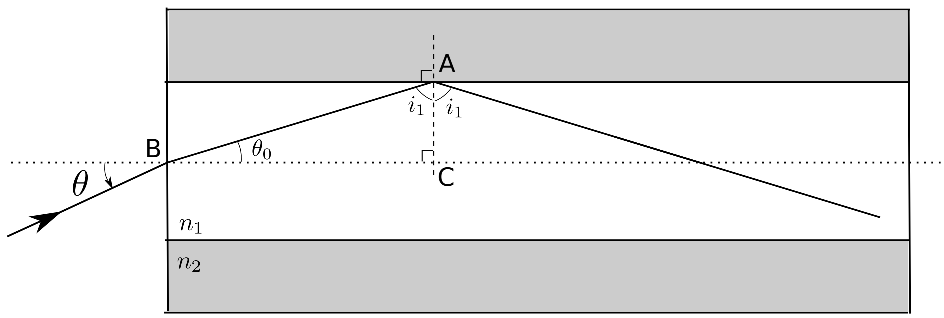
2 - $E = h\nu$ avec h la constante de Planck, ordre de grandeur $10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$.

3 - Un dioptre est la surface de séparation entre deux milieux d'indices différents. Relation de Snell-Descartes : $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$. Cf cours pour le schéma. Si $n_1 > n_2$ le rayon est plus proche de la normale dans le milieu 1.

4 - $T = 2\pi/\omega$; $\lambda = 2\pi/k$; $c = \lambda/T$.

II Fibre optique

5 - On souhaite avoir une réflexion totale à l'interface entre les milieux n_1 et n_2 (au point A) (afin de ne pas perdre de l'énergie à chaque réflexion), donc il faut $n_1 > n_2$.



6 - ► C'est au point A que la réflexion totale doit avoir lieu.

On se place dans le cas limite, où $i_2 = \pi/2$. Loi de Descartes au point A :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 = n_2 \sin \pi/2 = n_2 \quad \text{d'où} \quad \sin i_1 = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{d'où} \quad \boxed{i_1 = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = 80{,}6°.}$$

► On en déduit θ_0 : dans le triangle ABC, la somme des angles vaut 180°, donc $i_1 + \theta_0 + 90° = 180°$ et $\theta_0 = 180° - 90° - i_1$, soit $\boxed{\theta_0 = 9{,}4°.}$

► Enfin, on en déduit θ en applicant la loi de Descartes au point B :

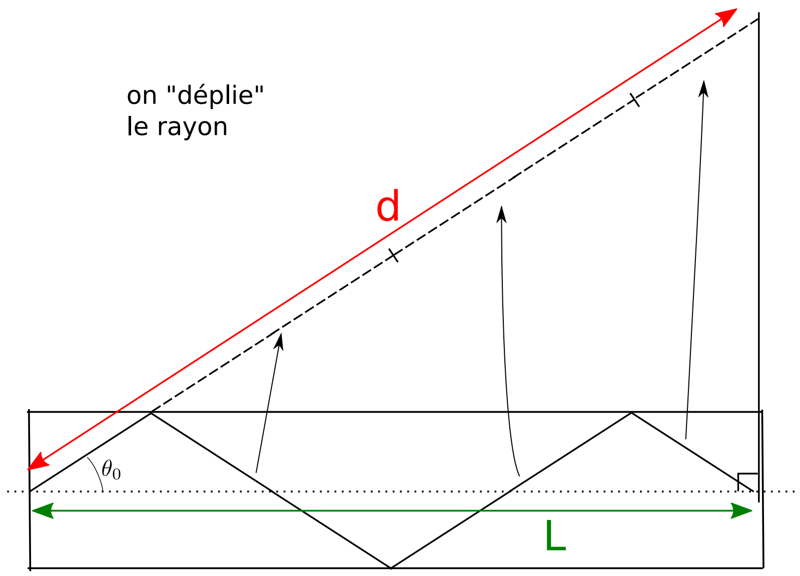
$$1 \times \sin\theta = n_1 \sin\theta_0 \quad \text{d'où} \quad \boxed{\theta = \arcsin(n_1 \sin\theta_0) = 14°.}$$

C'est l'angle d'incidence maximal pour qu'il y ait réflexion totale en A. Pour des angles supérieurs, il n'y aura pas réflexion totale, le rayon ne se propagera pas sur de longues distances.

7 - Voir le schéma.

On a $\cos\theta_0 = \dfrac{L}{d}$, et donc

$$\boxed{d = \frac{L}{\cos\theta_0}}.$$



La lumière se propage à la vitesse $v = c/n_1$, donc le temps de parcours est

$$\boxed{T = \frac{d}{v} = \frac{n_1 L}{c\cos\theta_0}}.$$

8 - ▶ Rayon qui arrive le plus tôt : celui qui va tout droit, donc $\theta = 0$ et $\theta_0 = 0$, donc

$$T = \frac{n_1 L}{c\cos 0} = 5{,}00\,\mu\text{s}.$$

Rayon qui arrive le plus tard : celui qui a l'angle le plus élevé, donc $\theta = \theta_m = 14°$ et $\theta_0 = 9{,}4°$, donc

$$T' = \frac{n_1 L}{c\cos\theta_0} = 5{,}16\,\mu\text{s}.$$

On a donc une différence $\boxed{T' - T = 0{,}16\,\mu\text{s}}$ entre le plus rapide et le plus lent.

▶ Lorsqu'on envoie une impulsion en entrée de la fibre, tous les angles sont présents. L'impulsion arrive donc de façon étalée entre $T = 5{,}00\,\mu$s et $T' = 5{,}16\,\mu$s.

Si on ne veut pas que deux impulsions successives se recouvrent (obligatoire sinon on ne peut plus les distinguer), il faut qu'elles soient séparées d'au moins $\Delta t = T' - T$.

▶ Ceci correspond à une fréquence maximale à laquelle est transmise l'information qui vaut

$$\boxed{f_{\text{max}} = \frac{1}{\Delta t} = 6{,}3\,\text{MHz}.}$$

III Lévitation acoustique

9 - D'après la relation de dispersion : $\boxed{\lambda = \dfrac{c}{f} = 2{,}0\,\text{cm}\,.}$

10 - Une telle onde est dite **progressive harmonique**. Comme elle se propage dans le sens des x croissants, il faut garder le signe $-$ dans son expression :

$$P_{\text{bas}}(x,t) = P_0\cos(\omega t - kx + \varphi_{\text{bas}})\,.$$

La pulsation ω est reliée à la fréquence par $\boxed{\omega = 2\pi\, f}$, et le vecteur d'onde k par

$$k = \frac{\omega}{c} \quad \text{soit} \quad \boxed{k = \frac{2\pi f}{c}\,.}$$

11 - Le haut-parleur du bas est situé en $x = 0$. En ce point, l'onde P_{bas} a pour phase initiale $\varphi_0 = -k \times 0 + \varphi_{\text{bas}}$. L'onde y est en phase avec la tension e qui a pour phase initiale $\varphi_e = 0$, d'où

$$\varphi_{\text{bas}} = \varphi_{\text{e}} \quad \text{soit} \quad \boxed{\varphi_{\text{bas}} = 0\,.}$$

12 - L'onde émise par le haut-parleur du haut se propage dans le sens des x décroissants, il faut donc garder le signe $+$ dans son expression.

En $x = d$, sur le haut-parleur du haut, sa phase initiale vaut $\varphi_0 = kd + \varphi_{\text{haut}}$, et l'onde est également en phase avec la tension e donc cette phase doit être nulle. Ainsi,

$$kd + \varphi_{\text{haut}} = 0 \quad \text{donc} \quad \boxed{\varphi_{\text{haut}} = -kd\,.}$$

13 - D'après le principe de superposition,

$$\begin{aligned} P(x,t) &= P_{\text{haut}}(x,t) + P_{\text{bas}}(x,t) \\ &= P_0 \cos(\omega t + kx - kd) + P_0 \cos(\omega t - kx) \end{aligned}$$

$$\boxed{P(x,t) = 2P_0 \cos\left(\omega t - \frac{kd}{2}\right) \cos\left(kx - \frac{kd}{2}\right)}$$

Cette onde est une **onde stationnaire harmonique**. Contrairement aux ondes émises par les hauts-parleurs, **elle ne se propage pas** mais vibre sur place.

14 - Un nœud de vibration est un point où la surpression acoustique est constamment nulle, un ventre un point où elle est d'amplitude maximale.

Deux nœuds sont séparés de $\lambda/2$.

Deux nœuds sont séparés d'un ventre : on retrouve que **deux ventres sont également séparés de $\lambda/2$**, et **un nœud et un ventre consécutifs sont séparés de $\lambda/4$**.

15 - Nous avons vu que la longueur totale de la corde doit être égale à un nombre de fois entier $\lambda/2$ (faire un schéma pour s'en convaincre).

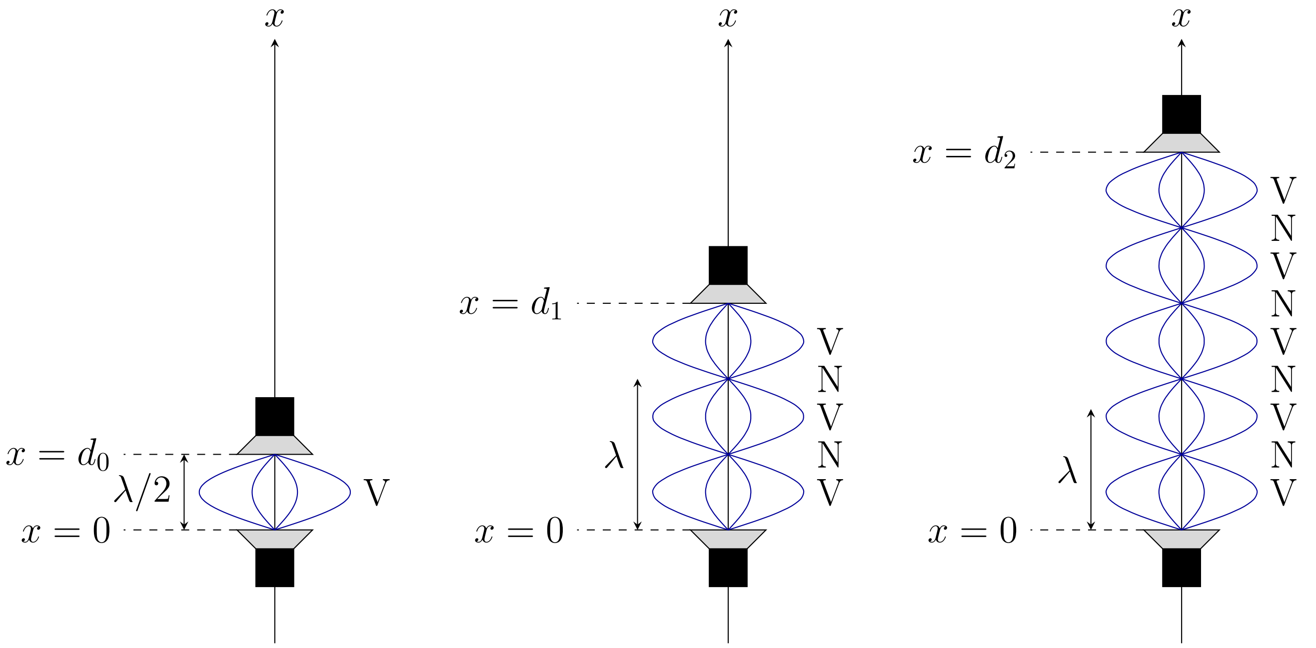
On doit donc avoir $\boxed{d_n = n \times \frac{\lambda}{2},}$ avec $n \in \mathbb{N}$.

16 - On a :

$$\cos\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right) = 0 \quad \text{soit} \quad \frac{\pi d}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + n\pi, \;\; n \in \mathbb{N}\,.$$

Les distances d_n que l'on peut choisir valent donc $\boxed{d_n = \frac{\lambda}{2} + n\lambda\,.}$

Voir figure ci-dessous.



17 - Force s'exerçant sur la base inférieure : $\pi R^2 \times 2P_0$, dirigée vers le haut.

Sur la base supérieure : nulle car $P = 0$ (c'est un nœud).

Force de gravité : $mg = \rho\pi R^2 \times R \times g = \pi R^3 \rho g$, dirigée vers le bas.

Il y a lévitation si les deux forces opposées sont égales, donc si :

$$\pi R^2 \times 2P_0 = \pi R^3 \rho g \quad \text{soit} \quad \boxed{P_0 = \frac{\rho R g}{2}.}$$

18 - On obtient $\boxed{P_0 = 0{,}1\,\mathrm{Pa}\,.}$ D'après le document, cette valeur correspond à un niveau sonore compris entre 60 et 80 dB : l'expérience semble tout à fait réalisable.