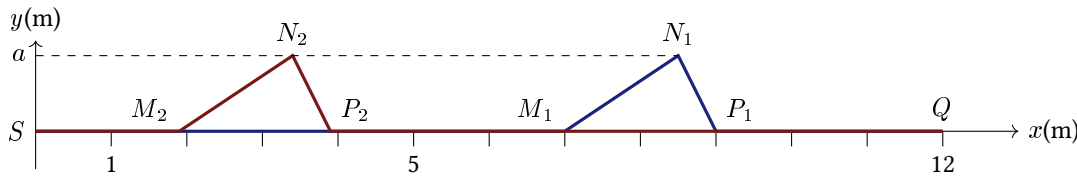


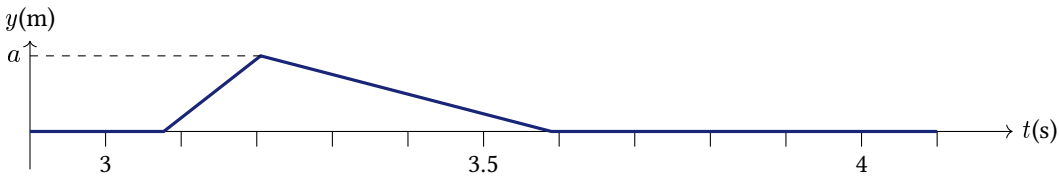
TD1 : Ondes - Corrigé

Exercice 1 : ONDE PROGRESSIVE LE LONG D’UNE CORDE

- Au bout de 2,3 s le front d’onde a parcouru 9 m (P_1). Donc $c = 9/2,3 \simeq 3,9 \text{ ms}^{-1}$
- La partie de la corde perturbée à une longueur de $\delta l = 2 \text{ m}$ ($M_1 P_1$), donc un point de la corde sera mis en mouvement pendant $\delta t = \delta l / c = 2/3,9 \simeq 0,51 \text{ s}$.
- Au temps t_1 , les points qui s’élèvent sont situés entre N_1 et P_1 , ceux qui descendent sont ceux entre M_1 et N_1 .
- À $t_2 = 1 \text{ s}$, les points M, N, P se trouvent $(t_1 - t_2)c = 1,3 \times 3,9 \simeq 5,1 \text{ m}$ plus à gauche.



- Évolution temporelle de la position de la corde au point Q(x=12m).



Exercice 2 : ONDES SISMIQUES

- Soit d la distance à l’épicentre, l’onde P arrive à $t_p = d/c_p$, l’onde S arrive à $t_s = d/c_s$ donc $t_s - t_p = d(1/c_s - 1/c_p)$ et $d = (t_s - t_p)/(1/c_p - 1/c_s)$. A.N. : $d \simeq 1851 \text{ km}$
- Pour localiser précisément l’épicentre on utilise plusieurs sismographe à différentes positions. La connaissance de la distance de l’épicentre à chacun de ces sismographes permet de *triangler* sa position.

Exercice 3 : EFFET DOPPLER

- $f(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$
- Pour l’observateur $x = x_0 + vt$ donc $f(x, t) = A \cos(\omega t - kx_0 - kvt) = A \cos((\omega - kv)t - kx_0)$
- $f' = 2\pi\omega' = 2\pi(\omega - kv) = f - v/\lambda = f(1 - v/c)$
- Lorsque l’on s’approche de la source sonore, $v < 0$ donc $f' > f$, le son perçu est plus aigu. La situation est symétrique lorsque la source est en mouvement, si elle s’approche de l’observateur, le son perçu est plus aigu alors que si elle s’éloigne il est plus grave (cause de changement de ton de la sirène d’une ambulance qui passe à proximité).

Exercice 4 : BULLE DE SAVON

- Les deux ondes réfléchies par les deux faces du film de savon se superposent en M et sont déphasées l’une par rapport à l’autre.
- On a $\lambda_e = c_e / f = c / (n_e f) = 1/n_e \times c/f = \lambda/n_e$.
- L’onde qui se réfléchit sur la première interface parcourt une distance $b + 2a$ dans l’air et a un déphasage de π supplémentaire. L’onde qui se réfléchit sur la seconde interface parcourt la même distance dans l’air et $2e$ dans l’eau. Elle n’a pas le déphasage de π supplémentaire.
 $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \times 2e/\lambda_e + \pi = 4\pi n_e e/\lambda - \pi$
- Interférences constructives : $\Delta\varphi = 2k\pi \Leftrightarrow \lambda = 4n_e e/(2k + 1) \quad k \in \mathbb{Z}$.
Interférences destructives : $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi \Leftrightarrow \lambda = 4n_e e/(2k) \quad k \in \mathbb{Z}$.
- A.N. : Interférences constructives pour $\lambda = 467 \text{ nm}$. Interférences destructives pour $\lambda = 700 \text{ nm}$. La bulle est de couleur bleue car les grandes longueurs d’onde (rouge) sont éteintes.
- Dans une bulle épaisse, il y a beaucoup de longueurs d’onde produisant des interférences constructives dans tout le spectre visible. La superposition de toutes ces couleurs produit une impression de blanc.

Exercice 5 : TROUS D’YOUNG

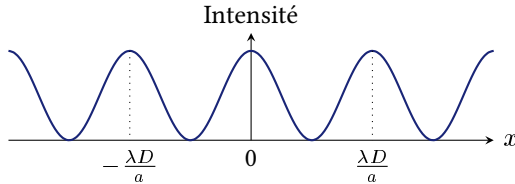
- L’onde ré-émise par le trou 1 provient de la source S elle est représentée par l’équation $f(l, t) = A \cos(\omega t - kl)$ où l est la distance jusqu’à la source S . On décompose l en passant par T_1 : $l = l_1 + l_S$ avec l_S la distance $T_1 S$. Et on obtient : $f_1(l_1, t) = A \cos(\omega t - k(l_1 + l_S)) = A \cos(\omega t - kl_1 - kl_S) = A \cos(\omega t - kl_1 + \varphi)$; $\varphi = -kl_S$ représente le déphasage subit par l’onde entre S et T_1 . Idem pour $f_2(l_2, t)$
- Il y a interférence car les ondes issues des deux trous parcourent une distance différente et sont donc déphasées. On observe des zones éclairées où les interférences sont constructives et des zones sombres où les interférences sont destructives.

- Le déphasage est $\Delta\phi = k(l_2 - l_1)$, il faut donc calculer $l_2 - l_1$. Pythagore donne

$$l_1 = \sqrt{D^2 + (x - a/2)^2} = D\sqrt{1 + \left(\frac{x - a/2}{D}\right)^2} \simeq D + \frac{(x - a/2)^2}{2D}$$

de même on trouve : $l_2 \simeq D + \frac{(x + a/2)^2}{2D}$. Donc $l_2 - l_1 \simeq \frac{ax}{D}$ et $\Delta\phi = k \frac{ax}{D}$

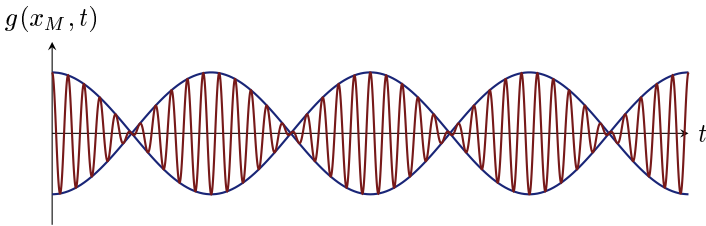
- Interférences constructives : $\Delta\phi = 2n\pi \Rightarrow x = 2Dn\pi/(ak) = n\lambda D/a$. On observe une zone brillante.
Interférences destructives : $\Delta\phi = (2n + 1)\pi \Rightarrow x = (n + 1/2)\lambda D/a$. On observe une zone sombre.
- Intensité :



- Les trous ré-émettent l’onde incidente dans toutes les directions grâce à la diffraction. Le diamètre d’un trou doit être du même ordre de grandeur que la longueur d’onde de la lumière.

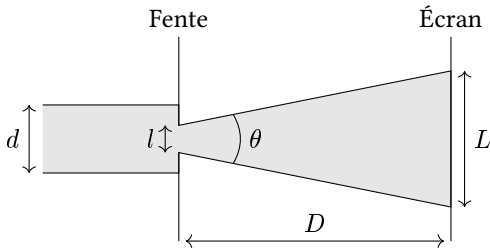
Exercice 6 : BATTEMENTS

- En utilisant $\omega = 2\pi f$, on obtient :
 $g_1(x, t) = A \cos(2\pi f_1 t - kx)$ et $g_2(x, t) = A \cos(2\pi f_2 t - kx)$.
- $g(x_M, t) = g_1(x_M, t) + g_2(x_M, t) = A \cos\left(2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t - kx_M\right) \cos\left(2\pi \frac{f_2 - f_1}{2} t\right)$
- Le son perçu est un son à la fréquence moyenne $\bar{f} = (f_1 + f_2)/2$ donc l’intensité varie sinusoidalement à la fréquence $\Delta f = f_2 - f_1$ (Lorsque le second cosinus vaut -1, l’intensité est aussi maximale donc la fréquence de variation de l’intensité est le double de celle du second cosinus).
- Allure de l’onde (En réalité il y a beaucoup plus d’oscillations dans chaque battement) :



Exercice 7 : ÉPAISSEUR D’UN CHEVEU

- Schéma :



- La tache a une forme approximativement rectangulaire de dimension a dans la direction de la fente (très peu de diffraction) et $L = 2D \tan(\theta/2) + l \simeq \lambda D/l$ dans la direction perpendiculaire.
- La surface de la tache sur l’écran est $S_e = L \times a$ alors que la surface éclairée de la fente est $S_f = l \times a$. La puissance lumineuse est constante donc $I \times S_f = I_e \times S_e$ soit $I_e = I \times S_f/S_e = I \times l/L = I \times l^2/(\lambda D)$.
- $l = \lambda D/L$
- $l \simeq 63,3 \mu\text{m}$.

Exercice 8 : QUELQUES PETITS PROBLÈMES

- La Lune se trouve à environ $d \approx 400\,000 \text{ km}$, la vitesse du son dans l’air est de l’ordre de 340 m/s, prenons $v \approx 400 \text{ m/s}$ pour simplifier les calculs. Pour faire un aller-retour, le son mettra $\Delta t = \frac{2d}{v} \approx 2 \times 10^6 \text{ s}$. Une journée durant 86 400 s $\approx 1 \times 10^5 \text{ s}$, la réponse arrivera au bout d’environ 20 jours.
La Lune tourne autour de la Terre en 29 jours, la question arrivera sur la Lune au bout de 10 jours, il faudra donc bien faire attention à la crier dans la bonne direction (pas vers la Lune au moment où on la pose).
- Lors d’un match de tennis, le temps qui sépare deux coups est de l’ordre de $\Delta t \approx 2 \text{ s}$. Pendant ce temps le son parcourt une distance de $d \approx 700 \text{ m}$ (à la vitesse de $v \approx 340 \text{ m/s}$). Il faudra donc se trouver à environ 700 m du cours pour observer l’effet décrit. À noter que l’on a considéré que la lumière se propage instantanément. Cela se justifie par le fait que la vitesse de la lumière dans l’air est de l’ordre de $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, soit une vitesse un million de fois plus grande que celle du son.
- On considère un pointeur laser vert de longueur d’onde $\lambda = 532 \text{ nm}$ (mais on pourrait faire un autre choix). La largeur du laser à la sortie du laser est de l’ordre de $d \simeq 2 \text{ mm}$. L’angle de divergence du faisceau est donc $\theta \simeq \frac{\lambda}{d} \simeq 260 \times 10^{-6} \text{ rad}$, la Lune se trouve à une distance de l’ordre de $D \approx 400 \times 10^3 \text{ km}$ de la Terre. Donc le diamètre de la tache sur la Lune sera de l’ordre de $L \approx D\theta \approx 100 \text{ km}$