

Exercices

Corrigé de l'exercice 1 — L'épaisseur d'un cheveu

1. Un cheveu est un obstacle de largeur $a \sim 0,1$ mm. Un cheveu reste beaucoup plus large que la longueur d'onde, mais son diamètre est assez petit pour que l'angle $\theta \simeq \lambda/a$ soit mesurable sur un écran éloigné. Un crayon est beaucoup trop large : l'angle devient imperceptible.
2. On part de la relation à connaître $\theta = \lambda/a$. Sur le schéma du cours, les petits angles donnent $\theta \simeq \tan \theta = \frac{d/2}{D}$, d'où la largeur de la tache $d = 2D\theta = \frac{2\lambda D}{a}$.

On en tire $a = \frac{2\lambda D}{d}$:

$$a = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 2,50}{40 \times 10^{-3}} = 7,9 \times 10^{-5} \text{ m} = 79 \text{ } \mu\text{m}.$$

3. Le vert a une longueur d'onde **plus courte** que le rouge ; comme $d = 2\lambda D/a$ (établie ci-dessus), la tache serait **plus étroite**.

Corrigé de l'exercice 2 — La lumière d'un DVD

1. La **diffraction** de la lumière par les sillons gravés.
2. Chaque longueur d'onde est diffractée sous son propre angle ($\theta = \lambda/a$) : le rouge s'écarte plus que le bleu, les couleurs se séparent — la lumière blanche est décomposée.
3. Les sillons d'un CD sont **plus larges** (a plus grand) : d'après $\theta = \lambda/a$, l'angle de diffraction est **plus petit**, les couleurs s'écartent moins — un CD irise **moins** qu'un DVD.

Corrigé de l'exercice 3 — Les fentes d'Young

1. De la 1^{re} à la 9^e frange, il y a **8** interfranges : $i = \ell/8 = 36,5/8 = 4,56$ mm.
2. $\lambda = \frac{bi}{D} = \frac{0,25 \times 10^{-3} \times 4,56 \times 10^{-3}}{1,80} = 6,3 \times 10^{-7} \text{ m} = 633 \text{ nm}$: un laser **rouge**.
3. $i = \lambda D/b$: rapprocher l'écran (diminuer D) **réduit** i ; rapprocher les fentes (diminuer b) **augmente** i .

Corrigé de l'exercice 4 — Young en lumière blanche

1. Au point O' , les trajets sont égaux ($S_1O' = S_2O'$) : $\delta = 0$ pour **toutes** les longueurs d'onde à la fois.

2. $\delta = 0$ est une condition de frange brillante valable pour toutes les couleurs : elles se superposent toutes $\Rightarrow$ la frange centrale est **blanche**.
3. En s'écartant de O' , chaque couleur a son propre interfrange ($i = \lambda D/b$, plus grand pour le rouge que pour le bleu) : les franges des différentes couleurs se décalent, on voit quelques franges **irisées** (bleu à l'intérieur, rouge à l'extérieur), puis, plus loin, les couleurs se recouvrent en tous points et la figure se **brouille** (elle redevient blanchâtre).

Corrigé de l'exercice 5 — Deux haut-parleurs

1. $\lambda = v/f = 340/1700 = 0,20$ m. Les deux sources, issues du même générateur, sont **cohérentes** et de même fréquence : leurs ondes se superposent en donnant des zones de renforcement et d'atténuation — des interférences.
2. $\delta = 0,30$ m $= 1,5 \times 0,20 = (1 + \frac{1}{2})\lambda$: différence de marche demi-entière $\Rightarrow$ interférences **destructives**, le son est **atténué**.
3. Le son est maximal là où δ est un multiple entier de λ : $\delta = k\lambda$. Par exemple $\delta = 0$ (à égale distance des deux haut-parleurs) ou $\delta = \lambda = 0,20$ m.

Corrigé — Exercice de réflexion — Une seule fente pour deux

Deux lasers indépendants, comme deux lampes, émettent avec un déphasage qui **varie** de façon désordonnée et très rapide : en un point donné, on passerait des interférences constructives aux destructives des millions de fois par seconde, et l'œil (comme tout capteur) ne verrait qu'un éclaircissement moyen **uniforme**, sans franges. En partant d'une **seule** source que l'on dédouble, les deux ondes qui se rencontrent sont **issues du même signal** : leur déphasage en un point ne dépend que de la différence de marche, il est **constant dans le temps** — la figure de franges est stable et observable. C'est la condition de **cohérence**.

Corrigé — Problème de Fermi — Entendre sans voir

Ordres de grandeur. Un son de voix (quelques centaines de Hz à ~ 1 kHz, $v \simeq 340$ m·s⁻¹) a une longueur d'onde

$$\lambda_{\text{son}} = \frac{v}{f} \sim \frac{340}{10^3} \sim 0,3 \text{ m},$$

soit quelques décimètres à un mètre. La lumière visible a $\lambda_{\text{lum}} \sim 0,5 \mu\text{m} = 5 \times 10^{-7}$ m.

Une ouverture courante (porte, angle de mur) mesure $a \sim 1$ m. Le critère de diffraction (a comparable à λ) est **satisfait pour le son** ($\lambda_{\text{son}} \sim a$) : le son s'étale largement en contournant l'obstacle, on l'entend. Il est **massivement violé pour la lumière** ($a/\lambda_{\text{lum}} \sim 10^6$) : la diffraction de la lumière est négligeable à cette échelle. D'où : *on entend derrière le mur ce qu'on ne peut pas y voir*, simplement parce que le son a une longueur d'onde un million de fois plus grande que la lumière.

E.C.E. — Exploitation

1. $d = \frac{2\lambda D}{a} = (2\lambda D) \times \frac{1}{a}$: à λ et D fixés, d est **proportionnelle** à $1/a$. La droite $d = f(1/a)$ passe par l'origine et a pour coefficient directeur $k = 2\lambda D$.
2. Avec les points extrêmes : $k = \frac{\Delta d}{\Delta(1/a)} = \frac{(32,0 - 8,3) \times 10^{-3}}{(25,0 - 6,7) \times 10^3} = \frac{23,7 \times 10^{-3}}{18,3 \times 10^3} = 1,30 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.
3. $\lambda = \frac{k}{2D} = \frac{1,30 \times 10^{-6}}{2 \times 1,00} = 6,5 \times 10^{-7} \text{ m} = 6,5 \times 10^2 \text{ nm}$, proche de 633 nm : **compatible** avec un laser hélium-néon.
4. En faisant varier chaque d de $\pm 1 \text{ mm}$, la pente extrême passe d'environ $\frac{(31,0 - 9,3) \times 10^{-3}}{18,3 \times 10^3} = 1,19 \times 10^{-6}$ à $\frac{(33,0 - 7,3) \times 10^{-3}}{18,3 \times 10^3} = 1,40 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, soit λ entre 595 et 700 nm. On retient $u(\lambda) \simeq 6 \times 10^1 \text{ nm}$ (1 c.s., par excès), d'où $\lambda = (6,3 \pm 0,6) \times 10^2 \text{ nm}$: le résultat englobe bien 633 nm.

Programmation Python

1. Somme : $y = y1 + y2$; amplitude : $\text{amplitude}_S = (S_{\text{max}} - S_{\text{min}}) / 2$.
2. Pour $\varphi = 0$, les deux signaux sont identiques : la somme a une amplitude **doublée** ($\text{amplitude}_S = 2,0$). Cela correspond à un point **brillant** (interférences constructives).
3. Pour $\varphi = \pi$, les deux signaux sont opposés : la somme est **nulle** ($\text{amplitude}_S = 0$). Point **sombre** (interférences destructives). Le déphasage entre les deux ondes décide donc à lui seul de l'état d'interférence.
4. $\varphi = \pi$ correspond à $2\pi \delta / \lambda = \pi$, soit $\delta = \lambda/2$: c'est bien la condition de frange **sombre** ($\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ avec $k = 0$).